Environnement Canada
Service de la protection de l'environnement

Environment Canada
Environmental Protection Service

c. 3

collection
ENVIROGUIDE

LE SULFURE D'HYDROGÈNE

Canada

Septembre 1984

85-1691/

COLLECTION «ENVIROGUIDE»

La collection «Enviroguide» est constituée de guides d'information technique à utiliser en cas de déversements de matières dangereuses. Chaque guide fournit une masse considérable d'information relative au produit chimique dont il traite. L'information ainsi présentée a pour but d'aider l'utilisateur à mettre sur pied un plan d'intervention en cas d'accident et à évaluer les incidences sur l'environnement que peut avoir tel ou tel polluant. Le contenu de chacun des guides a été vérifié par la Direction des services techniques du Service de la protection de l'environnement avant que ne soit autorisée sa publication. Il est à noter qu'une telle autorisation n'implique pas que le contenu des guides reflète les points de vue ou la politique du Service de la protection de l'environnement. De même, le fait de mentionner des marques déposées ou des noms de produits commerciaux ne doit pas être interprété comme une forme de recommandation.

Les rapports Enviroguide sont disponibles de

Section des publications
Service de la protection de l'environnement
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
CANADA
K1A 1C8

collection
ENVIROGUIDE

LE SULFURE D'HYDROGÈNE

SERVICE DE LA PROTECTION
DE L'ENVIRONNEMENT

DIRECTION GÉNÉRALE DES PROGRAMMES
DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

DIRECTION DES SERVICES TECHNIQUES

OTTAWA
SEPTEMBRE 1984
ENVIRONNEMENT CANADA

Publication distribuée par le Service des publications
Service de la protection de l'environnement
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 1C8

Édition française de
Hydrogen Sulphide
préparée par le Module d'édition française

English copy available at the above mentioned address

© Ministre des Approvisionements et Services Canada 1984
N° de cat. En 48-10 17-1984F
ISBN 0-662-92828-8
IMPRIMERIE BEAUREGARD LIMITÉE

AVANT-PROPOS

La collection «Enviroguide» a été lancée officiellement en 1983. Elle est constituée de guides d'information technique sur les produits chimiques qui sont les plus souvent en cause dans les cas de déversements accidentels. Les guides, qui s'adressent à des spécialistes dans le domaine des déversements, sont conçus pour aider à planifier les interventions d'urgence et évaluer les incidences sur l'environnement.

Vu la grande quantité d'information présentée et le caractère très technique des guides, ces derniers ne s'adressent pas au personnel de première intervention, pour qui existent déjà des manuels plus appropriés.

L'information offerte a été glanée en majeure partie dans des publications déjà existantes. Les auteurs ont pris grand soin, aussi bien au stade de la compilation qu'à celui de la révision, de vérifier la justesse des éléments retenus. Néanmoins, il ne faut pas voir dans la publication de ces éléments d'information une forme de recommandation de la part du gouvernement du Canada ni de quelque autre groupe.

REMERCIEMENTS

La version définitive du présent guide est l'oeuvre du personnel du Service de la protection de l'environnement, qui a procédé à la refonte de nombreux passages du texte initial, ajouté maints renseignements et commentaires et préparé les schémas et les figures.

Le travail préliminaire avait été donné à contrat par Environnement Canada aux firmes M.M. Dillon Consulting Engineers and Planners, Concord Scientific Corporation et Waterloo Engineering Limited.

L'abondance de détails qu'on trouve dans le guide est le fruit de la collaboration de plusieurs personnes, organismes et institutions qui ont fourni des données et des conseils précieux, au stade de la compilation comme au stade de la rédaction. Sous ce rapport, l'Association canadienne des fabricants de produits chimiques mérite des remerciements particuliers.

TABLE DES MATIÈRES

	Avant-propos	III
	Remerciements	III
	Liste des figures	VII
	Liste des tableaux	VII
	Abréviations et symboles	IX
	Définitions	XI
	Sigles	XII
1	**Résumé**	**1**
1.1	Sulfure d'hydrogène	1
2	**Propriétés physiques et chimiques**	**4**
3	**Production, transport et commerce**	**9**
3.1	Qualités et titres du produit	9
3.2	Fabricants au Canada	9
3.3	Autres fournisseurs	9
3.4	Principaux itinéraires utilisés pour le transport	9
3.5	Volume de production	9
3.6	Fabrication industrielle	10
3.6.1	Matières premières	10
3.6.2	Procédé de fabrication	10
3.7	Principales utilisations au Canada	10
3.8	Principaux acheteurs au Canada	10
4	**Manutention du produit et compatibilité**	**11**
4.1	Citernes et autres récipients d'expédition	11
4.1.1	Information générale	11
4.1.2	Bouteilles à gaz	11
4.1.3	Wagons-citernes	13
4.2	Déchargement	13
4.2.1	Matériel et procédés de déchargement et de stockage des bouteilles à gaz	13
4.2.2	Matériel et procédés de déchargement des wagons-citernes	14
4.2.3	Matériaux de fabrication des organes de déchargement	14
4.3	Compatibilité entre le produit et certains matériaux	17
5	**Fuite et migration du produit**	**22**
5.1	Aperçu général	22
5.2	Fuite du produit	23
5.2.1	Introduction	23
5.2.2	Nomogrammes relatifs aux fuites au-dessous du niveau de liquide	24
5.2.2.1	Pourcentage de liquide restant en fonction du temps	24
5.2.2.2	Débit de fuite du liquide en fonction du diamètre équivalent de l'orifice	25
5.2.3	Nomogrammes relatifs aux fuites au-dessus du niveau de liquide	25
5.2.3.1	Pourcentage de liquide restant en fonction du temps	25
5.2.3.2	Débit d'émission de vapeurs en fonction du diamètre équivalent de l'orifice	25
5.2.4	Exemples de calcul	25
5.3	Diffusion dans l'atmosphère	28
5.3.1	Introduction	28
5.3.2	Nomogrammes de diffusion de la bouffée de vapeurs	28
5.3.2.1	Teneur en vapeurs en fonction de la distance sous le vent	30
5.3.2.2	Demi-largeur maximale de la bouffée dangereuse	30
5.3.2.3	Distance parcourue par la bouffée en fonction du temps écoulé	37
5.3.3	Exemple de calcul	37
5.4	Comportement dans l'eau	38
5.4.1	Introduction	38

5.4.2	Étalement sur l'eau	
5.4.3	Mélange avec l'eau	38
5.4.4	Nomogrammes	40
5.4.4.1	Rayon maximal de la nappe en fonction de la masse déversée	40
5.4.4.2	Teneur en polluant dans les rivières non soumises aux marées	41
5.4.4.2.1	Nomogrammes de diffusion dans les rivières non soumises aux marées	42
5.4.4.3	Nomogrammes de diffusion dans les étendues d'eau calme ou les lacs (au repos)	42
5.4.5	Exemples de calcul	42
5.4.5.1	Étalement en eau calme	54
5.4.5.2	Teneur en polluant dans une rivière non soumise aux marées	54
5.4.5.3	Teneur en polluant dans les étendues d'eau calme ou les lacs (au repos)	54
5.5	Comportement dans la subsurface	54
5.5.1	Mécanismes	55
5.5.2	Migration du polluant dans la zone non saturée	55
5.5.3	Migration du polluant dans la zone saturée	55
5.5.4	Types de sol	56
5.5.5	Nomogrammes de migration	56
5.5.6	Exemple de calcul	56
		60
6	**Protection de l'environnement**	**61**
6.1	Limites maximales admissibles	61
6.1.1	Qualité de l'eau	61
6.1.1.1	Situation au Canada	61
6.1.2	Qualité de l'air	61
6.2	Toxicité pour les espèces aquatiques	61
6.2.1	Évaluation de la toxicité	61
6.2.2	Mesures de la toxicité	61
6.2.2.1	Toxicité en eau douce	62
6.2.2.2	Toxicité en eau salée	62
6.3	Toxicité pour d'autres organismes	63
6.3.1	Toxicité pour le bétail	64
6.3.2	Toxicité pour les insectes	64
6.3.3	Toxicité pour les végétaux	64
6.4	Etudes des effets	64
6.5	Dégradation	65
6.5.1	Dégradation chimique	65
6.5.2	Dégradation biochimique	65
6.6	Devenir et effets à long terme	65
6.6.1	Bioaccumulation potentielle	65
6.6.2	Études	65
		65
7	**Protection de la santé**	**66**
7.1	Normes d'exposition recommandées	66
7.1.1	Indice de toxicité par inhalation (ITI)	67
7.2	Données sur les effets toxiques	67
7.2.1	Contact avec la peau	67
7.2.2	Contact avec les yeux	67
7.3	Seuil de perception des caractères organoleptiques	68
7.3.1	Odeur	68
7.3.2	Goût	68
7.4	Études à long terme	68
7.4.1	Inhalation	68
7.4.2	Ingestion	71
7.4.3	Pouvoirs cancérogène, mutagène et tératogène	71
7.5	Symptômes	71
7.5.1	Inhalation	71
7.5.2	Ingestion	72
7.5.3	Contact avec la peau	72
7.5.4	Contact avec les yeux	72

7.6 Toxicité des produits de décomposition ou de combustion pour l'être humain ... 72
7.6.1 Anhydride sulfureux ... 72

8 Compatibilité chimique ... 73
8.1 Compatibilité entre le sulfure d'hydrogène et divers produits chimiques ... 73

9 Mesures d'intervention et de sécurité ... 75
9.1 Mesures recommandées ... 75
9.1.1 Risques d'incendie ... 75
9.1.2 Moyens d'extinction ... 75
9.1.3 Évacuation de la zone dangereuse ... 75
9.1.4 Mesures d'intervention en cas de déversements ... 76
9.1.4.1 Information générale ... 76
9.1.4.2 Déversements sur le sol ... 76
9.1.4.3 Déversements dans l'eau ... 76
9.1.5 Nettoyage et traitement ... 76
9.1.5.1 Information générale ... 76
9.1.6 Élimination du polluant ... 77
9.1.7 Mesures de protection ... 77
9.1.8 Précautions spéciales ... 78

10 Cas de déversements accidentels ... 79
10.1 Fuite d'un gazoduc ... 79

11 Identification et dosage des polluants ... 80
11.1 Dosage du polluant présent dans l'air (analyses quantitatives) ... 80
11.1.1 Spectrophotométrie ... 80
11.2 Identification du polluant présent dans l'air (analyse qualitative) ... 81
11.3 Dosage du polluant dans l'eau (analyse quantitative) ... 81
11.3.1 Spectrophotométrie ... 81
11.4 Identification du polluant présent dans l'eau (analyse qualitative) ... 81
11.5 Dosage du polluant présent dans le sol (analyses quantitatives) ... 82
11.5.1 Titrage ... 82
11.6 Identification du polluant présent dans le sol (analyse qualitative) ... 82

12 Références et bibliographie ... 83
12.1 Références ... 83
12.2 Bibliographie ... 90

LISTE DES FIGURES

1 Tension de la vapeur en fonction de la température 7
2 Masse volumique du liquide en fonction de la température 7
3 Diagramme de phase 8
4 Bouteilles à gaz 12
5 Wagon-citerne – classe 105A600W 16
6 Wagon-citerne percé au-dessus et au-dessous du niveau du liquide 24
7 Pourcentage de liquide restant en fonction du temps d'écoulement 26
8 Débit de fuite en fonction du diamètre de l'orifice 26
9 Pourcentage de liquide restant en fonction du temps d'écoulement 27
10 Débit d'émission de vapeurs en fonction du diamètre de l'orifice 27
11 Schématisation d'une bouffée de polluant 29
12 Teneur uniformisée en vapeurs en fonction de la distance sous le vent 31
13 Distance parcourue par la bouffée en fonction du temps écoulé 32
14 Étapes à suivre pour déterminer la zone dangereuse 33
15 Conversion de la TLV® (ppm à g/m^3) 34
16 Conversion de la L.I.I. (% de volume à g/m^3) 35
17 Zone dangereuse maximale sous un vent invariable 39
18 Zone dangereuse maximale sous un vent variable 39
19 Rayon maximal de la nappe en fonction de la masse déversée 41
20 Distance en fonction du temps 43
21 Rayon hydraulique en fonction de la largeur du canal 44
22 Coefficient de diffusion turbulente en fonction du rayon hydraulique 45
23 Alpha en fonction du coefficient de diffusion turbulente 46
24 Delta en fonction de alpha 47
25 Teneur maximale en fonction de delta 48
26 Volume d'eau en fonction du rayon hydraulique 49
27 Teneur moyenne en fonction du volume d'eau 50
28 Étapes à suivre pour calculer la teneur en polluant dans une rivière non soumise aux marées 51
29 Migration dans le sol 52
30 Plan d'utilisation des nomogrammes 53
31 Migration dans du sable grossier 57
32 Migration dans du sable limoneux 58
33 Migration dans un till argileux 59

LISTE DES TABLEAUX

1 Nomogrammes de conversion 6
2 Spécifications relatives aux bouteilles à gaz 11
3 Spécifications relatives aux wagons-citernes 13
4 Spécifications relatives aux wagons-citernes – classe 105A600W 15
5 Compatibilité entre le produit et certains matériaux de fabrication 18
6 Deux catégories de conditions de stabilité 30
7 Demi-largeurs maximales de la bouffée dangereuse de sulfure d'hydrogène 36

ABRÉVIATIONS ET SYMBOLES

adf	Antidéflagrant
atm	Atmosphère
c.f.	Coupelle fermée
c.o.	Coupelle ouverte
CPG	Chromatographie en phase gazeuse
d	Densité
d vap	Densité de vapeur
d.-v.	Demi-vie
D ext.	Diamètre extérieur
D int.	Diamètre intérieur
DAMM	Diamètre aérodynamique moyen en masse
DBO	Demande biochimique en oxygène
DCO	Demande chimique en oxygène
D_e	Diamètre d'entrée
DIF	Détecteur d'ionisation à flamme
DMM	Diamètre moyen en masse
DMN	Diamètre moyen en nombre
DMV	Diamètre moyen en volume
DPI	Détecteur à photo-ionisation
D_s	Diamètre de sortie
DL min.	Dose létale minimale
DL 50	Dose létale moyenne
et coll.	et collaborateurs
eV	Électronvolt
f. n. éq.	Fumée normalisée équivalente
gal imp.	Gallon impérial
IDLH	*Immediately Dangerous to Life or Health*
IR	Infrarouge
j	jour
J	Joule
K	Coefficient de perméabilité
l	litre
L.I.E.	Limite inférieure d'explosibilité
L.I.I.	Limite inférieure d'inflammabilité
L.S.E.	Limite supérieure d'explosibilité
L.S.I.	Limite supérieure d'inflammabilité
m	Masse
MAK	Teneur maximale admissible (norme établie par la RFA)
MAK-K	Teneur maximale admissible (norme établie par la RDA)
MAK-D	Teneur maximale admissible – courte durée (norme établie par la RDA)
max.	Maximum
mé/l	Milliéquivalent par litre
MIK	Teneur maximale d'immission (norme établie par la RDA)
min.	Minimum
mn	Minute
M mol.	Masse molaire
M vol.	Masse volumique
mol	Mole
MPT	Moyenne pondérée en fonction du temps
N	Newton
Pa · s	Pascal seconde
pds éq.	Poids équivalent
ppb	Parties par milliard (10^{-9})
ppm	Parties par million (10^{-6})
ppt	Parties par mille (10^{-3})
psi	*Pounds per square inch*
P	Pression
P_c	Pression critique
PEL	*Permissible Exposure Limit*
Po	Poise
Pt cong.	Point de congélation
Pt déf.	Point de déflagration
Pt dét.	Point de détonation
Pt ébul.	Point d'ébullition
Pt écl.	Point d'éclair
Pt écoul.	Point d'écoulement
Pt fus.	Point de fusion
Pt liq.	Point de liquéfaction
PVC	Chlorure de polyvinyle
q	Débit
q_e	Débit d'entrée
q_f	Débit de fuite
q_m	Débit-masse
q_s	Débit de sortie
q_t	Masse totale de vapeurs émise
q_v	Débit-volume
std	Standard
SM	Spectroscopie de masse
St	Stokes
STEL	*Short Term Exposure Limit*
t	Tonne
t	Temps
temp.	Température
$temp._c$	Température critique
TE 50	Teneur efficace moyenne
tf	Tonne forte
TI 50	Teneur inhibitrice moyenne
TLm	Tolérance moyenne
TL min.	Teneur létale minimale
TL 50	Teneur létale moyenne
TLV®	*Threshold Limit Value*
TLV®C	*Threshold Limit Value-Ceiling*
TPN	Température et pression normales

TT min.	Teneur toxique minimale	V évap.	Vitesse d'évaporation
u	Vitesse du vent	^{o}Bé	Degré Baumé
μ	Viscosité	^{o}C	Degré Celsius
vap	Vapeur	ϕ	Diamètre
vol.	Volume	x	Distance sous le vent
V	Vitesse d'écoulement	₩	Ne pas utiliser d'eau comme moyen d'extinction
V biod.	Vitesse de biodégradation		

DÉFINITIONS

Les définitions figurant ci-dessous valent pour la collection «Enviroguide». Le lecteur notera qu'elles n'ont pas toujours une portée générale. Pour plus de détails, ou pour d'autres définitions, se reporter au manuel d'introduction de la collection.

Bio-accumulation. – Rétention sans cesse croissante d'une substance dans les tissus d'un organisme tout au long de son existence (le facteur de bioconcentration augmentant sans cesse).

Bio-amplification. – Rétention d'une substance dans les tissus à des teneurs de plus en plus élevées au fur et à mesure que l'on s'élève dans la hiérarchie des organismes de la chaîne alimentaire.

Bioconcentration. – Rétention d'une substance dans les tissus d'un organisme au point que la teneur des tissus en cette substance surpasse la teneur du milieu ambiant en cette substance, à un moment donné de la vie de cet organisme.

Concentration. – Comme ce mot a des sens multiples et parfois mal définis selon qu'il s'agit de chimie, de biologie ou d'écologie, on lui a préféré des termes jugés plus précis, tels titre, teneur et bioconcentration.

Contaminant. – Polluant qui figure sur une liste de produits dangereux, établie en vertu de la Loi sur les contaminants de l'environnement.

Dose létale minimale. – Dans le cas de la toxicité pour l'homme (la dose définie ici peut être extrapolée à l'homme), il s'agit de la plus faible dose (autre que la DL 50) d'une substance dont l'absorption, excluant l'inhalation, en une ou plusieurs prises, au bout d'un temps donné, a été signalée comme cause de la mort d'un animal ou d'une personne. Abrév. DL min.

Dose létale moyenne (1). – Dans le cas de la toxicité pour l'animal, il s'agit de la dose qui tue, au bout d'un temps donné, 50 p. 100 des animaux auxquels on a fait absorber une certaine quantité de substance. Abrév. DL 50.

Dose létale moyenne (2). – À des fins de comparaison ou d'extrapolation dans l'étude de la toxicité pour l'homme, il s'agit de la dose (calculée) d'une substance censée entraîner, au bout d'un temps donné, la mort de 50 p. 100 d'une population homogène d'animaux. Elle est déterminée par suite de l'absorption, excluant l'inhalation, d'une quantité de cette substance par un lot statistiquement significatif d'animaux provenant de cette population. Abrév. DL 50.

Dose toxique minimale. – La plus faible dose d'une substance, introduite par toute autre voie que l'inhalation, pendant quelque période de temps que ce soit, dont l'absorption a été signalée comme cause d'effet toxique chez des personnes ou d'effets carcinogènes, néoplastogènes ou tératogènes chez les animaux ou les personnes. Abrév. DT min.

Facteur de bioconcentration. – Rapport de la teneur en une substance des tissus d'un organisme exposé (moins la teneur des tissus d'un organisme témoin) à la teneur en cette substance du milieu ambiant.

IDLH *(Immediately Dangerous to Life or Health)*. – Teneur plafond à laquelle, dans un délai maximal d'exposition de 30 minutes, il est possible à une personne de fuir les lieux exposés sans qu'il n'y ait manifestation de signes fonctionnels d'intoxication, perturbation irréversible de la santé ou décès. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par le NIOSH.

Immission. – Transfert d'un polluant de l'atmosphère vers un «récepteur» qui peut être une personne, un animal, une plante. La teneur maximale d'immission, mentionnée au chapitre 7, se rapporte au polluant retenu dans les poumons. Il s'agit d'un concept d'origine allemande, adopté par l'ISO.

Létal. – En toxicologie, synonyme de mortel.

MAK *(Maximale Arbeidsplatz Konzentration)*. – Teneur limite moyenne admissible en milieu de travail, compte tenu de semaines de 45 heures et de journées de 8 heures. Il s'agit d'une norme établie par la RFA.

MAK-D. – Teneur limite moyenne admissible en milieu de travail, compte tenu de semaines de 45 heures et de journées de 8 heures. Il s'agit d'une norme établie par la RDA.

MAK-K. – Teneur limite admissible en milieu de travail pour une période très courte ne dépassant pas 30 minutes. Il s'agit d'une norme établie par la RDA.

PEL *(Permissible Exposure Limit)*. – Teneur limite moyenne (pondérée en fonction du temps) à laquelle peuvent être exposés des travailleurs pendant une période de relève. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par le NIOSH.

Polluant. – Agent physique, chimique ou biologique qui provoque une dégradation dans un milieu donné.

STEL (TLV – *Short Term Exposure Limit*). – Teneur limite à laquelle les travailleurs peuvent être exposés de façon continue pour une courte période sans souffrir d'irritation, de dommage irréversible aux tissus ou d'une narcose suffisamment grave pour accroître la probabilité de blessure par accident, diminuer la capacité de fuir ou réduire physiquement l'efficacité au travail, en prenant pour acquis que la TLV quotidienne n'a pas été dépassée. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par l'ACGIH.

Teneur. – Quantité de matière solide, liquide ou gazeuse, rapportée à une masse ou à un volume d'autres matières dans lesquelles elle est en mélange, suspension ou dissolution.

Teneur efficace moyenne. – Dans le cas de la toxicité pour la micro-faune, il s'agit de la teneur à laquelle se produit, chez 50 p. 100 de la population, pour une durée d'exposition donnée, un effet tel que l'immobilisation, la perte de l'équilibre, une déficience de croissance ou même la mort. Abrév. TE 50.

Teneur inhibitrice moyenne. – Dans le cas de la toxicité pour la micro-flore ou la micro-faune, il s'agit de la toxicité qui inhibe à 50 p. 100 une activité biologique (par exemple, la croissance) en un temps déterminé. Abrév. TI 50.

Teneur létale minimale. – Dans le cas de la toxicité pour l'homme (la teneur définie ici peut être extrapolée à l'homme), il s'agit de la plus faible teneur (autre que la TL 50) de l'air en une substance dont l'inhalation a été signalée comme cause de la mort d'un animal ou d'une personne. Abrév. TL min.

Teneur létale moyenne (1). – Dans le cas de la toxicité pour l'animal, il s'agit de la teneur à laquelle meurent, au bout d'un temps donné, 50 p. 100 des animaux auxquels on a fait absorber une certaine quantité de substance. Abrév. TL 50.

Teneur létale moyenne (2). – À des fins de comparaison ou d'extrapolation dans l'étude de la toxicité pour l'homme, il s'agit de la teneur (calculée) de l'air en une substance dont l'inhalation est censée provoquer, au bout d'un temps donné, la mort de 50 p. 100 d'une population homogène d'animaux. Elle est déterminée par suite de l'exposition d'un lot statistiquement significatif d'animaux provenant de cette population. Abrév. TL 50.

Teneur plafond. – Teneur maximale admissible établie pour une durée d'exposition bien déterminée, dans le cas d'une substance très toxique. (L'IDLH et la TLV®-C sont des teneurs plafonds.)

Teneur toxique minimale. – La plus faible teneur de l'air en une substance à laquelle des personnes ou des animaux ont été exposés, pour quelque période de temps que ce soit, sans qu'il y ait eu d'effet toxique chez les personnes ou d'effets carcinogènes, néoplastogènes ou tératogènes chez les animaux ou les personnes. Abrév. TT min.

Titre (d'une solution, en chimie). – Rapport de la masse d'une substance dissoute à la masse totale ou du nombre de moles d'un constituant au nombre total de moles.

TLV® *(Threshold Limit Value).* – Teneur limite moyenne (pondérée en fonction du temps) à laquelle la majorité des travailleurs peuvent être exposés régulièrement à raison de 8 heures par jour, 5 jours par semaine, sans subir d'effet nocif. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par l'ACGIH.

TLV®-C *(Threshold Limit Value-Ceiling).* – Teneur limite admissible pour un moment donné. Il s'agit d'une valeur plafond définie et déterminée par l'ACGIH.

Tolérance moyenne. – Niveau de tolérance correspondant à la teneur à laquelle 50 p. 100 des sujets d'un test survivent au bout d'un temps donné. Abrév. TLm.

SIGLES

ACGIH	American Conference of Government Industrial Hygienists
ANSI	American National Standards Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
AWQC	Ambient Water Quality Criteria (USA)
AWWA	American Water Works Association
CBG	Chemical Buyers' Guide (USA)
CCD	Condensed Chemical Dictionary (USA)
CCPA	Canadian Chemical Producers Association
CCT	Commission canadienne des transports
CHRIS	Chemical Hazards Response Information System (USA)
EPA	Environmental Protection Agency (USA)
ITII	International Technical Information Institute (Japon)
MCA	Manufacturing Chemists Association (USA)
MDT	Ministère des Transports (du Canada)
NACE	National Association of Corrosion Engineers (USA)
NAS	National Academy of Sciences (USA)
NFPA	National Fire Protection Association (USA)
NIOSH	National Institute of Occupational Safety and Health
NRC	National Research Council (USA)
OSHA	Occupational Safety and Health Administration (USA)

1 RÉSUMÉ

1.1 Sulfure d'hydrogène (H_2S)

Le sulfure d'hydrogène se présente comme un gaz incolore, dégageant une odeur semblable à celle des oeufs pourris.

Synonymes
Acide sulfhydrique, hydrogène sulfuré, (**hydrogen sulphide** en anglais).

N^os^ d'identification
UN 1053; CAS 7783-06-4; OHM-TADS 7216752; STCC 4905410.

Qualités et titres
Commerciale; titre de 98,5 p. 100.
Chimiquement pur; titre de 99,5 p. 100.

Dangers immédiats
Incendie. – Le sulfure d'hydrogène est inflammable et brûle en produisant de l'anhydride sulfureux. Un retour de flamme peut se produire le long de la trainée de vapeurs.
Effet sur l'homme. – Le sulfure d'hydrogène est fortement toxique lorsqu'il y a inhalation ou contact avec l'épiderme. L'odorat devient insensible lors d'une exposition prolongée ou lors d'une exposition à de fortes teneurs et, par conséquent, aucun avertissement n'est donné de la présence d'un danger.
Effet sur l'environnement. – Le sulfure d'hydrogène est nocif pour les espèces du milieu aquatique et du milieu terrestre exposées à de très faibles teneurs. La teneur seuil pour les poissons d'eau douce et d'eau salée est de 0,5 ppm.

Données relatives aux propriétés physiques

État (15 °C, 1 atm)	Gaz
Point d'ébullition	-60,7 °C
Point de fusion	-85,5 °C
Inflammabilité	Inflammable
Tension de vapeur	2026 kPa (25,5 °C)
Masse volumique (liquide à -61 °C)	0,86 g/ml
Solubilité (dans l'eau)	437 ml/100 ml à 0 °C, 186 ml/100 ml à 40 °C
Comportement (dans l'eau)	Flotte et se dissout rapidement (en bouillant)
Comportement (dans l'air)	La vapeur est plus lourde que l'air
Seuil olfactif	0,0001 à 0,001 ppm

Dangers pour l'environnement
Le sulfure d'hydrogène est toxique pour les espèces des milieux aquatique et terrestre à de très faibles teneurs. La teneur seuil pour les poissons d'eau douce ou salée est de 0,5 ppm. Les plantes exposées pendant plus de 24 heures à des teneurs supérieures à 5 ppm sont affectées. Le sulfure d'hydrogène ne présente aucun danger de concentration ou de contamination le long de la chaîne alimentaire.

Dangers pour l'homme

Teneur maximale admissible établie par l'ACGIH (TLV®): 10 ppm (14 mg/m^3).

Teneur immédiatement dangereuse pour la vie ou la santé (IDLH): 300 ppm.

Effets en cas d'inhalation. – Le sulfure d'hydrogène est un poison lorsqu'il est inhalé. L'odorat devient insensible lors d'une exposition prolongée ou lors d'une exposition à de fortes teneurs, ce qui empêche la perception d'un danger. L'inhalation provoque des irritations du nez, de la gorge et des yeux, des éternuements, des maux de tête, des étourdissements, des nausées, des vomissements, des sueurs froides, des faiblesses musculaires, des pertes de conscience et la mort.

Effets en cas de contact. – Le contact avec l'épiderme provoque des irritations et des inflammations douloureuses. Le contact avec les yeux provoque des irritations, du larmoiement et des inflammations.

Dispositions immédiates à prendre

• En cas de déversement

Interdire l'accès aux lieux où s'est produit l'accident: «Produit inflammable et poison». Appeler les pompiers. Prévenir le fabricant. Interdire au personnel non impliqué de s'approcher des lieux du déversement. Éliminer les causes possibles d'inflammation, dont les véhicules automobiles et appareils divers. Il est recommandé que seul du personnel expérimenté soit autorisé à colmater les fuites. Éviter l'inhalation et tout contact avec l'épiderme. Se tenir face au vent, la nappe derrière soi. Empêcher toute eau polluée d'atteindre un égout ou un cours d'eau.

• En cas d'incendie

Le sulfure d'hydrogène est inflammable. Ne pas tenter d'éteindre les flammes s'il n'est pas possible d'arrêter les fuites. Utiliser de la mousse, des poudres sèches ou de la neige carbonique, de l'eau pulvérisée ou un brouillard d'eau si l'on décide d'éteindre les flammes. Refroidir avec de l'eau les contenants exposés aux flammes. Se tenir éloigné des extrémités des citernes.

Mesures d'intervention d'urgence

• Sulfure d'hydrogène dans et sur le sol

Dans le cas d'un déversement du produit à l'état liquide, confiner la nappe à l'aide de barrages mécaniques ou chimiques. Le liquide se mettra rapidement à bouillir et se transformera en vapeur.

• Sulfure d'hydrogène dans et sur l'eau

Confiner l'eau polluée au moyen de barrages ou par déviation du cours d'eau. Effectuer une adsorption sur charbon actif afin de récupérer le produit.

• Sulfure d'hydrogène dans l'air

Utiliser un jet d'eau pour rabattre les vapeurs au sol et pour les disperser. Confiner l'eau de ruissellement afin de pouvoir l'épurer ou l'enlever par la suite.

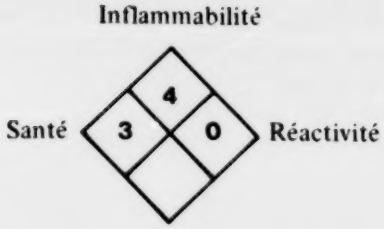
Niveau de gravité du risque selon la NAS (étatsunienne)

(Catégorie)	(Niveau)
Incendie	0
Santé	
Irritation causée par des vapeurs	2
Irritation causée par le produit à l'état liquide ou solide	4
Intoxications	2
Pollution de l'eau	
Toxicité pour l'homme	2
Toxicité pour les espèces vivantes du milieu aquatique	3
Atteinte à l'esthétique de l'environnement	2

Réactivité

Autres produits chimiques	4
Eau	3
Réaction spontanée	0

Évaluation du risque
selon la NFPA (étatsunienne)



2 PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES

Propriétés physiques	
Aspect	Gaz incolore (Thio-Pet UM, 1979), ou liquide incolore (Bailar, 1973)
État à l'expédition	Gaz liquéfié sous sa propre tension de vapeur (HCG, 1981)
État physique (15 °C; 1 atm)	Gaz
Point de fusion	-85,5 °C (CRC, 1980)
Point d'ébullition	-60,7 °C (CRC, 1980)
Tension de vapeur	2026 kPa (25 °C) (CRC, 1982) 1033 kPa (0 °C) (Kirk-Othmer, 1983)
Densités	
Masse volumique	0,86 g/ml (liquide à -61 °C) (CRC, 1982) 0,99 g/ml (liquide à -60,7 °C) (Kirk-Othmer, 1983) 1,539 g/l (gaz à 0 °C) (CRC, 1982)
Densité relative de la vapeur	1,189 (15 °C) (Thio-Pet UM, 1979) (air = 1)
Propriétés relatives à la combustion	
Inflammabilité	Gaz inflammable (NFPA, 1978)
Température d'inflammation spontanée	260 °C (NFPA, 1978)
Vitesse de combustion (pour le liquide)	2,3 mm/mn (CHRIS, 1978)
Limite supérieure d'inflammabilité	44,0 p. 100 (v/v) (NFPA, 1978) 46,0 p. 100 (v/v) (Matheson, 1981; Kirk-Othmer, 1983)
Limite inférieure d'inflammabilité	4,0 p. 100 (v/v) (NFPA, 1978) 4,3 p. 100 (v/v) (Matheson, 1981; Kirk-Othmer, 1983)
Caractéristiques de la combustion	Dans l'air, brûle en produisant une flamme bleu pâle (Merck, 1976)
Chaleur de combustion	661 kJ/mol (HCG, 1981; Kirk-Othmer, 1983)
Produits de combustion	Eau et dioxyde de soufre (HCG, 1981)
Risque de retour de flamme	Les vapeurs peuvent parcourir une distance considérable et provoquer un retour de flamme (NFPA, 1978)
Risque d'allumage électrique	Peut s'enflammer à la suite d'une décharge d'électricité statique
Autres propriétés	
Masse moléculaire de la substance pure	34,08 (CRC, 1980)
Composition caractéristique de la qualité commerciale	> 98 p. 100 de H_2S (HCG, 1981)
Indice de réfraction	1,374 (liquide) (CRC, 1980) 1,0006 (gaz à 25 °C) (Matheson, 1981)
Viscosité	0,0124 mPa · s (17 °C) (CRC, 1980)
Chaleur latente de fusion	2,38 kJ/mol (au point de fusion) (HCG, 1981; Matheson, 1981)

Chaleur latente de sublimation	20,42 kJ/mol (25 °C) (JANAF, 1971)
Chaleur latente de vaporisation	18,7 kJ/mol (au point d'ébullition) (HCG, 1981)
Chaleur de formation	-19,96 kJ/mol (25 °C) (Perry, 1973) -20,64 kJ/mol (25 °C) (CRC, 1982)
Potentiel d'ionisation	10,47 eV (Rosenstock, 1977)
Capacité thermique massique * à pression constante	1,06 kJ/kg · °C (HCG, 1981) 1,004 kJ/kg · °C (25 °C) (Matheson, 1981)
à volume constant	0,80 kJ/kg · °C (HCG, 1981) 0,757 kJ/kg · °C (25 °C) (Matheson, 1981)
Pression critique	9010 kPa (HCG, 1981; Matheson, 1981)
Température critique	100,4 °C (HCG, 1981; Matheson, 1981)
Conductivité thermique	1,40 x 10^{-2} W/m · °K (16 °C) (CRC, 1982)
Diffusivité	1,61 x 10^{-5} cm^2/s (dans l'eau à 25 °C) (Perry, 1973)
pH de la solution aqueuse	4,1 (solution 0,1 N, 25 °C) (CRC, 1982)
Moment de dipôle électrique	3,669 x 10^{-30} C · m (Matheson, 1981)
Constante diélectrique	1,004 (gaz à 0 °C) (Matheson, 1981) 9,05 (liquide à -78,5 °C) (Matheson, 1981)
Solubilité	
dans l'eau	437 ml/100 ml (0 °C) (CRC, 1982) 186 ml/100 ml (40 °C) (CRC, 1982)
dans d'autres substances courantes	Soluble dans l'éthanol et le disulfure de carbone (CRC, 1982) Très soluble dans les alkanolamines, soluble dans le méthanol, l'acétone, le carbonate de propylène, le sulfolane, le phosphate de tributyle dans certains glycols et éthers de glycol. Soluble également dans le n-méthylpyrolidinone (49 ml/g à 20 °C), l'hexane (8,9 ml/g à 20 °C) et le benzène (16,6 ml/g à 20 °C) (Kirk-Othmer, 1983)
Facteur de conversion du volume en poids de la vapeur	1 ppm = 1,413 mg/m^3 (20 °C) (Verschueren, 1977)

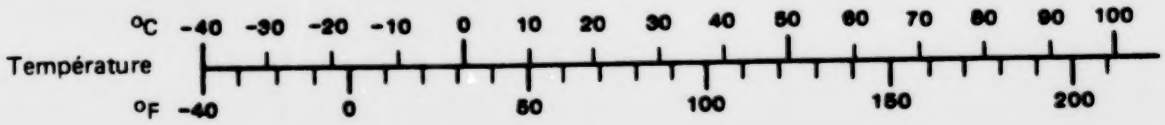
Structure

Le sulfure d'hydrogène est le seul composé binaire soufre-hydrogène thermodynamiquement stable que l'on trouve fréquemment dans la nature. Le sulfure d'hydrogène (H_2S) est le synonyme «soufre» de l'eau. Au contraire de l'eau il existe à l'état gazeux dans des conditions de pression et de températures normales à cause du faible nombre de liaisons hydrogène. Toutefois, il se liquéfie facilement à basses températures ou à des pressions plus élevées. Le liquide obtenu est incolore et sa viscosité par rapport à l'eau est d'environ 1 p. 100.

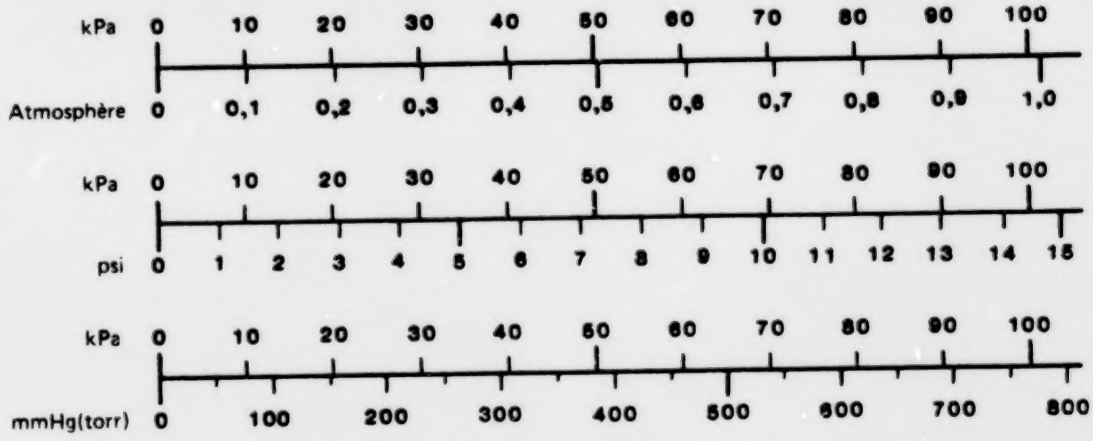
* La chaleur massique, ou chaleur spécifique, est numériquement équivalente à la capacité thermique massique.

Tableau 1

SULFURE D'HYDROGÈNE — NOMOGRAMMES DE CONVERSION



Pression — 1 kPa = 1 000 Pa



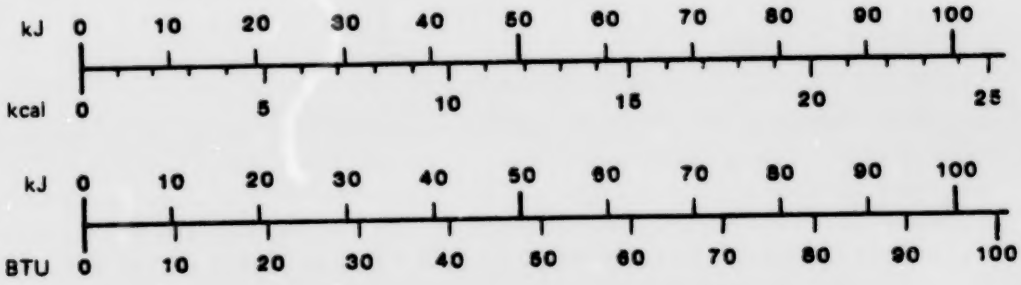
Viscosité

Dynamique — 1 Pa·s = 1 000 centipoises (cPo)

Cinématique — 1 m^2/s = 1 000 000 centistokes (cSt)

Teneur (de l'eau)
1 ppm ≅ 1 mg/l

Énergie (chaleur) — 1 kJ = 1 000 J



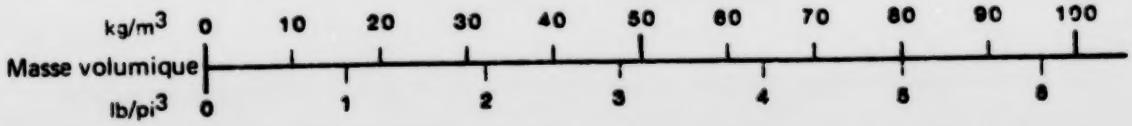


Figure 1

SULFURE D'HYDROGÈNE

TENSION DE LA VAPEUR EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Référence: Thio-Pet UM, 1979

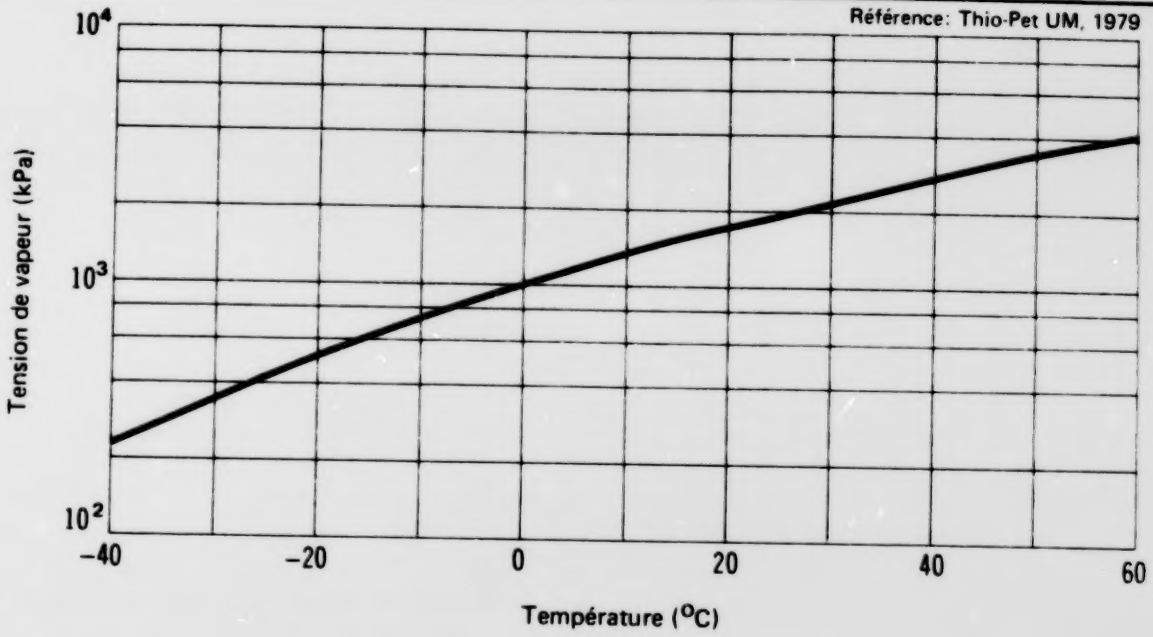


Figure 2

SULFURE D'HYDROGÈNE

MASSE VOLUMIQUE DU LIQUIDE EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Référence: HCG, 1981

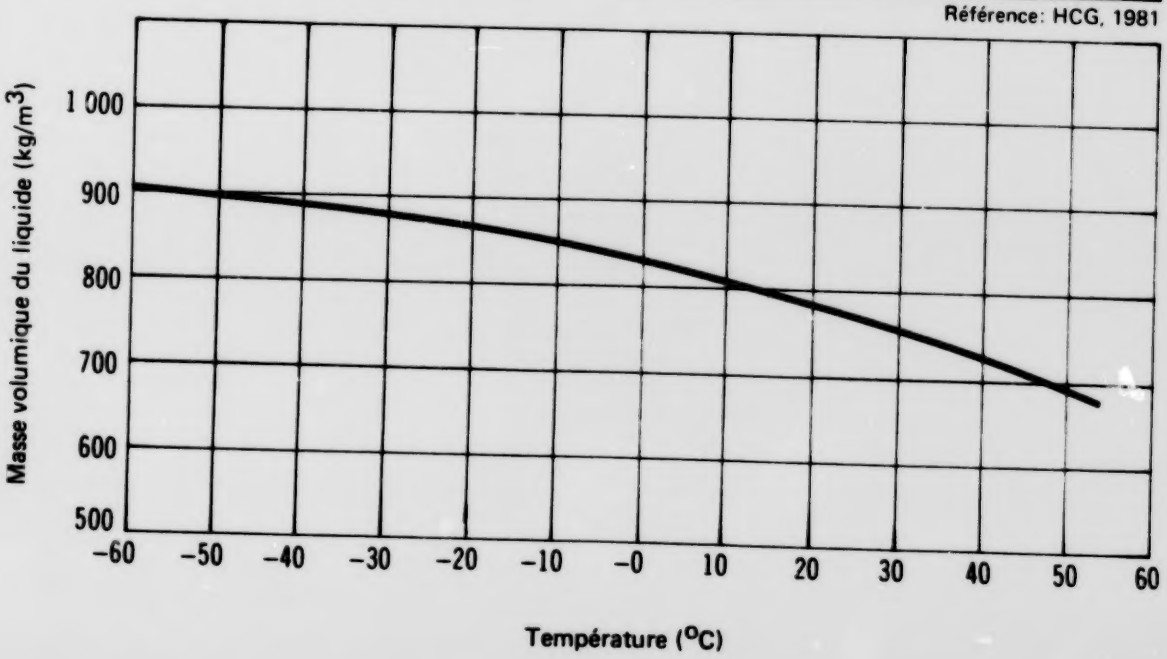
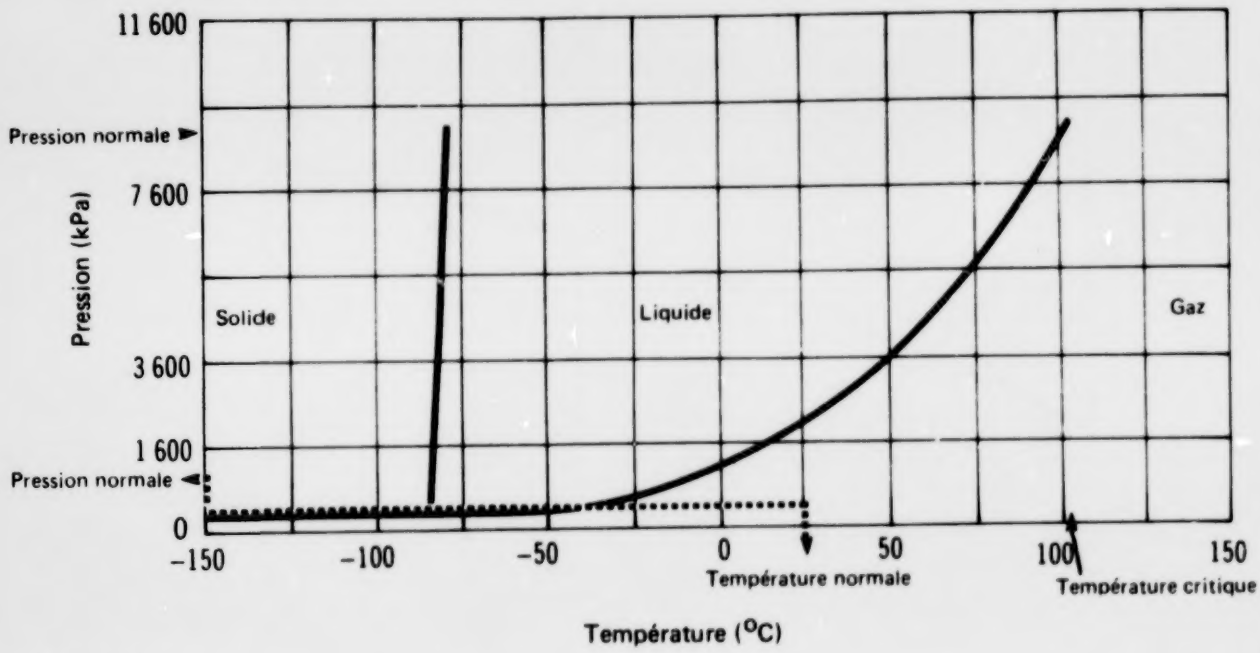


Figure 3

SULFURE D'HYDROGÈNE — **DIAGRAMME DE PHASE**



3 PRODUCTION, TRANSPORT ET COMMERCE

3.1 Qualités et titres du produit (HCG, 1981)

Le sulfure d'hydrogène est vendu aux qualités «commerciale» (min. 98,5 p. 100) et «chimiquement pur» (min. 99,5 p. 100).

3.2 Fabricants au Canada
(CCR, 1978; CBG, 1980; Scott, 1979)

Les adresses qui suivent sont celles de sièges sociaux et ne peuvent servir comme recours en cas de déversement.

Cornwall Chemicals Ltd., P.O. Box 200, Station A, Willowdale, Ontario, M5N 5S8, (416) 226-7650
Sherritt Gordon Mines, P.O. Box 28, Commerce Court West, Toronto, Ontario, (416) 363-9241
Sulconam Inc., 11450 Cherrier, Montréal, Québec, H1B 1A6, (514) 645-1636
Thio-Pet Chemicals Ltd., 1313 Edmonton Centre, Edmonton, Alberta, T5J 2Z1, (403) 426-1093

3.3 Autres fournisseurs
(CBG, 1980)

Air Products, 2090 Steeles Avenue, Brampton, Ontario, L6T 1A7, (416) 791-2530
Matheson of Canada Ltd., P.O. Box 89, Whitby, Ontario, L1N 5R9, (416) 668-3397
Canadian Liquid Air Co. Ltd., 1155 Sherbrooke ouest, Montréal, Québec, H3A 1H8, (514) 842-5431

3.4 Principaux itinéraires utilisés pour le transport

Actuellement, tout le sulfure d'hydrogène produit au Canada provient de l'Alberta, de l'Ontario et du Québec. Le transport s'effectue par wagons-citernes et par bouteilles à gaz vers les différentes régions du Canada.

3.5 Volume de production
(CCR, 1978; CBG, 1980; Thio-Pet UM, 1979)

Société	Emplacement	Capacité nominale kilotonnes/an (1980)
Cornwall Chemicals (C.I.L.)	Cornwall (Ontario)*	
Laurentide Chemical and Sulphur	Montréal (Québec)	3,8**
Sherritt Gordon Mines	Ft. Saskatchewan (Alberta)	4,5***
Thio-Pet Chemicals (1979)	Ft. Saskatchewan (Alberta)	3,6
TOTAL		11,9

* Usines captives
** Importé pour vendre
*** Comprend les usines captives

3.6 Fabrication industrielle
(CCP, 1978)

3.6.1 Matières premières. – Le Canada produit une quantité considérable de H_2S à partir du gaz naturel acide et une moindre quantité à partir du pétrole brut. On définit le gaz naturel acide comme étant celui dont la teneur en H_2S est comprise entre 1 p. 100 et 20 p. 100 et peut parfois atteindre 91 p. 100. Le sulfure d'hydrogène est extrait du gaz naturel acide dans des usines de traitement situées surtout dans l'Ouest canadien. (CMI, 1980).

3.6.2 Procédé de fabrication. – Le sulfure d'hydrogène est un composant indésirable du gaz naturel qui doit être éliminé pour assurer la commercialisation du produit. L'élimination se fait au moyen d'une colonne d'absorption dans laquelle le gaz naturel acide est introduit et rencontre en montant un contrecourant d'une solution aqueuse de l'un des composés suivants: diéthylamine, éthanolamine, carbonate de potassium chaud, sulfinol (mélange d'alcanolamines, de sulfolanes et d'eau). La dissolution du sulfure d'hydrogène gazeux dans l'une de ces solutions entraîne la formation d'un sel qui, une fois qu'il est chauffé, se dissociera pour donner les matériaux de départ tout en régénérant la solution d'extraction. La solution résultante est chauffée dans une unité de dégazolinage où le sulfure d'hydrogène est libéré. La solution d'extraction régénérée peut être utilisée à nouveau (CMI, 1980; Kirk-Othmer, 1983).

3.7 Principales utilisations au Canada
(HCG, 1981)

Le sulfure d'hydrogène est utilisé commercialement pour la fabrication de l'eau lourde, la purification des acides chlorhydrique et sulfurique, la précipitation des sulfures de métaux et la production de soufre élémentaire, mercaptans, éthylène, nylon, carbonate de sodium anhydre, sulfure monosodique et autres produits. On l'utilise comme réducteur dans la récupération de l'acide crésylique et comme réactif en chimie analytique.

3.8 Principaux acheteurs au Canada
(Corpus CR, 1981; CBG, 1980; Percy, 1983)

Ontario Hydro (Bruce Nuclear Power Development), Toronto (Ontario)
Air Products, Brampton (Ontario)
Matheson of Canada Ltd., Brampton (Ontario)
Atomic Energy Canada Ltd., Port Hawkesbury et Glace Bay (Nouvelle-Écosse).

4 MANUTENTION DU PRODUIT ET COMPATIBILITÉ AVEC LES MATÉRIAUX

4.1 Citernes et autres récipients d'expédition

4.1.1 Information générale. – Le sulfure d'hydrogène est expédié par wagons-citernes et par bouteilles à gaz en acier sous forme de gaz liquéfié sous sa propre tension de vapeur. Des citernes d'une tonne (parfois fabriquées en aluminium) peuvent être utilisées et transportées dans des wagons-citernes à unités multiples. Toutes les citernes et tous les récipients d'expédition sont munis de dispositifs de sécurité et mis à l'épreuve sous pression à intervalles réguliers.

4.1.2 Bouteilles à gaz. – Les bouteilles à gaz utilisées pour le transport du sulfure d'hydrogène sont fabriquées en acier sans soudure ou en acier soudé à la forge. Leurs masses nettes sont comprises entre 1,8 kg (4 lb) et 91 kg (200 lb). Les bouteilles à gaz doivent être conformes aux spécifications de la CCT et du DOT 3A480, 3A2015, 3AA2015, 3AA480, 3B480, 4A480, 4BA300, 4B480, 4BA480 et 3E1800. La pression normale indiquée pour les bouteilles à gaz est de 1737 kPa (252 psi) à une température de 21 °C. Les classes 3A et 3AA s'appliquent aux bouteilles à gaz à faible et à haute pression. Les bouteilles à gaz à faible pression sont plus courtes et ont un diamètre supérieur. Des bouteilles à gaz typiques sont illustrées à la figure 4 et les spécifications relatives à celles-ci sont présentées au tableau 2 (Matheson, 1981; Linde, 1981).

Tableau 2
Spécifications relatives aux bouteilles à gaz

Spécification du DOT/CCT*	Description
3A480	Bouteille sans soudure en acier. Pression de service maximale 3312 kPa (480 psi).
3AA480	Bouteille sans soudure en acier. Pression de service maximale 3312 kPa (480 psi). Aciers nettement recommandés. Teneur maximale en carbone 0,28 p. 100.
3B480	Bouteille sans soudure en nickel. Pression de service maximale 3312 kPa (480 psi).
3A480	Bouteille en acier soudée à la forge. Pression de service maximale 3312 kPa (480 psi).
4B480	Bouteille en acier soudée et brasée. Pression de service maximale 3312 kPa (480 psi).
4BA480	Bouteille en acier soudée et brasée. Aciers nettement recommandés. Pression de service maximale 3312 kPa (480 psi).
3E1800	Bouteille sans soudure en acier. Pression de service maximale 12 400 kPa (1800 psi). Diamètre maximal 51 mm (2 po). Longueur maximale 610 mm (24 po).

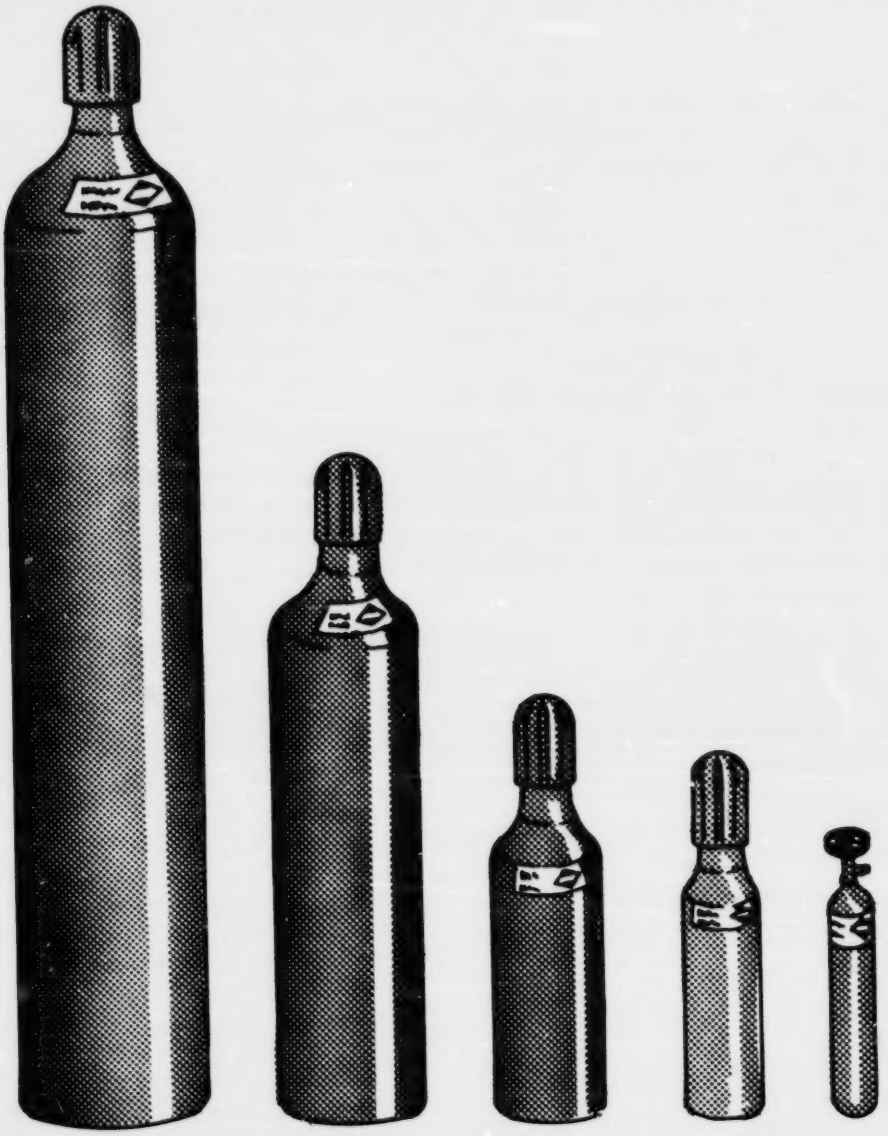
*Department of Transportation (U.S.A.); Commission canadienne des transports.

Figure 4

SULFURE D'HYDROGÈNE

BOUTEILLES À GAZ

(Référence - LINDE, 1981)



Classification de l'industrie		K	Q	G	F	LB
Dimensions approximatives	(mm)	229×1320	178×787	152×508	102×432	51×330
	(po)	9×52	7×31	6×20	4×17	2×13
Tare	(kg)	60	29	13	5	1
	(lb)	132	65	29	10	4

Tableau 3
Spécifications relatives aux wagons-citernes

Spécifications du DOT/CCT*	Description
105A600W	Citerne en acier soudée par fusion avec trou d'homme. Isolée. Organes de déchargement par le haut exigés. Soupape de sécurité (3105 kPa). Orifice de déchargement par le bas ou de purge interdit.
106A800X	Unités multiples avec citernes en acier non isolées, montées sur châssis. Citernes soudées par fusion sur le plan longitudinal et soudées à la forge aux extrémités. Nom populaire: citerne d'une tonne. Les citernes sont munies de robinets de chargement et de déchargement et d'une soupape de sécurité, avec évent, réglée pour que la pression n'excède pas 4140 kPa (600 psi).

*Department of Transportation (U.S.A.); Commission canadienne des transports.

4.1.3 **Wagons-citernes.** – Les wagons-citernes utilisés pour le transport du sulfure d'hydrogène sont construits en acier. Ils ont une capacité nominale de 68 000 l (15 000 gal imp.). Les wagons-citernes de classes 120A600W et 105A600W sont conformes aux spécifications de la CCT et du DOT. Le wagon-citerne de classe 105A600W, le plus utilisé pour le transport du sulfure d'hydrogène, est illustré à la figure 5; les spécifications relatives à ce wagon-citerne sont données au tableau 4. Le tableau 3 décrit un wagon spécial de classe 106A800X conforme à la spécification de la CCT et du DOT. Le wagon appelé wagon porte-cylindres ou wagon-citerne à unités multiples sert au transport de citernes d'une tonne contenant du sulfure d'hydrogène (TCM, 1979; RTDCR, 1974). Les wagons-citernes ont une enveloppe en acier sur isolant de mousse ou de liège de 102 à 254 mm (4 à 10 po) d'épaisseur.

Il n'est permis de pratiquer qu'une seule ouverture dans la citerne, soit un trou d'homme au centre, sur le dessus de la citerne. Quatre robinets à tournant sphérique, sont montés dans l'enceinte de trou d'homme et une soupape de sûreté et de décharge est située au centre de celui-ci (TCM, 1979). Deux des robinets à tournant sphérique servent au déchargement du sulfure d'hydrogène liquide et les deux autres s'ouvrent sur la phase vapeur (MCA, 1968). Les robinets sont reliés à une tubulure de déchargement qui descend du couvercle jusqu'au fond de la citerne. La soupape de sûreté à ressort est munie d'une goupille de rupture. On trouve parfois, sur le dessus du wagon, un puits thermométrique de 19 mm (TCM, 1979).

4.2 Déchargement

4.2.1 Matériel et procédés de déchargement et de stockage des bouteilles à gaz. – Avant de procéder au déchargement et au stockage des bouteilles à gaz, il importe de prendre les précautions suivantes (HSUM, 1979):

- Les couvercles protecteurs des robinets doivent être bien vissés.
- Les bouteilles ne doivent pas être stockées près des systèmes de ventilation.
- Les bouteilles doivent être stockées dans un endroit où les risques de corrosion sont réduits au minimum.

- Les bouteilles doivent être en position debout.
- Les bouteilles vides doivent être séparées des bouteilles pleines.
- Les bouteilles à sulfure d'hydrogène ne doivent pas être stockées avec celles qui contiennent de l'oxygène ou d'autres substances oxydantes.

En position debout, les bouteilles fournissent du sulfure d'hydrogène gazeux et, en position inverse, du sulfure d'hydrogène liquide. Un tuyau flexible est recommandé pour raccorder le robinet de la bouteille à gaz avec la tubulure du système de distribution afin d'éliminer les vibrations et faciliter le montage et le démontage. Un clapet de retenue devrait être installé pour empêcher le passage du fluide en sens inverse du sens normal de fonctionnement. Le matériel et les conduites utilisés doivent être mis à la terre. En cas d'urgence, un appareil respiratoire autonome doit être facile d'accès. Il est opportun de choisir des bouteilles d'une telle capacité qu'elles peuvent être vidées après une période d'utilisation relativement courte (Matheson, 1981).

4.2.2 Matériel et procédés de déchargement des wagons-citernes. – Avant de procéder au déchargement, il importe de prendre les précautions suivantes (MCA, 1968):

- N'effectuer le déchargement que par du personnel compétent.
- Utiliser une voie de garage réservée exclusivement aux wagons-citernes à sulfure d'hydrogène.
- Serrer les freins et caler les roues, poser les dérailleurs et afficher les avertissements.
- Disposer d'un quai de service offrant toutes les conditions de sécurité au poste de déchargement.
- Utiliser du matériel antidéflagrant.
- Mettre le wagon-citerne à la terre avant que les systèmes de chargement ou de déchargement ne soient raccordés.
- Vérifier que le réservoir de stockage peut recevoir le contenu du wagon-citerne.

Le wagon-citerne à sulfure d'hydrogène peut être déchargé sous l'action de la tension de vapeur ou au moyen d'une pompe. On recommande d'utiliser des joints Chiksan ou des joints de construction semblable pour les bras de déchargement (HSUM, 1979). Si l'on utilise le procédé de déchargement par la tension de vapeur, l'un des deux robinets à liquide doit être ouvert ou l'un des deux robinets à gaz et le produit, acheminé au réservoir de stockage. Le liquide peut également être acheminé au réservoir de stockage au moyen d'une pompe.

4.2.3 Matériaux de fabrication des organes de déchargement. – Les matériaux de fabrication des divers composants des organes de déchargement, de même que les spécifications relatives à ces organes, dont il sera question dans la présente section, sont ceux qui sont généralement utilisés pour le sulfure d'hydrogène à des températures et à des pressions normales.

Les éléments d'un système de déchargement typique sont notamment les conduites et les raccords, les raccords flexibles, les robinets et les soupapes, les pompes et les réservoirs de stockage.

Le sulfure d'hydrogène anhydre est généralement peu corrosif pour les aciers non alliés, l'aluminium, l'Inconel, le Stellite et les aciers inoxydables 304 et 316. Par contre, les aciers trempés, en présence de sulfure d'hydrogène, particulièrement lorsqu'ils subissent des tensions, sont sujets à fragilisation. Ce problème peut être évité si l'on applique sur les parois de la citerne une couche de téflon, d'acier inoxydable 316 ou d'Inconel durci par vieillissement. Les pires craques de tension dues aux sulfures surviennent dans la plage de températures comprises entre -7 et 49 °C. Un renflement peut se produire à haute température et l'écaillage qui s'ensuit offre peu de protection contre une corrosion subséquente par les sulfures métalliques, car ceux-ci

Tableau 4
Spécifications relatives aux wagons-citernes – classe 105A600W
(TCM, 1979; RTDCR, 1974)

Description	Caractéristiques
Structure	
Capacité nominale	68 000 l (15 000 gal)
Tare	50 200 kg (110 600 lb)
Masse brute maximale	119 000 kg (263 000 lb)
Citerne	
Matériau	Acier
Épaisseur	17 - 24 mm (11/16 - 15/16 po)
Diamètre intérieur	2,6 m (102 po)
Pression d'essai	4140 kPa (600 psi)
Pression de rupture	10 300 kPa (1500 psi)
Dimensions	
Longueur avec organes d'attelage	17 m (57 pi)
Longueur avec pylônes de choc	16 m (55 pi)
Distance entre les pivots de boggie	13 m (44 pi)
Hauteur du plancher-caillebotis	4 m (12 pi)
Hauteur hors-tout	5 m (15 pi)
Largeur hors-tout	3,2 m (127 po)
Longueur du caillebotis	2 - 3 m (7 - 10 pi)
Largeur du caillebotis	1,5 - 2 m (5 - 6 pi)
Dispositifs de chargement et de déchargement	
Raccord de déchargement	25 mm (1 po) relié à un clapet de retenue de 32 mm (1 1/4 po)
Robinetterie	2 robinets à liquide, 2 robinets à gaz
Dispositifs de sécurité	
Soupape de sûreté	Réglée à 3100 kPa (450 psi)
Isolation	
Mousse ou liège	102 - 254 mm (4 - 10 po) d'épaisseur

adhèrent mal aux surfaces métalliques à cause de leur bas point de fusion. Les alliages à base de nickel ou à haute teneur en nickel, par exemple, résistent peu aux sulfures à haute température. En revanche, l'aluminium offre une excellente résistance au sulfure d'hydrogène sec, ou humide de sorte qu'on lui accorde comme matériau de construction, la classe A. Les alliages de nickel toutefois ont montré une résistance à la corrosion due aux sulfures dans des conditions d'exploitation simulées de puits de pétrole et de gaz.

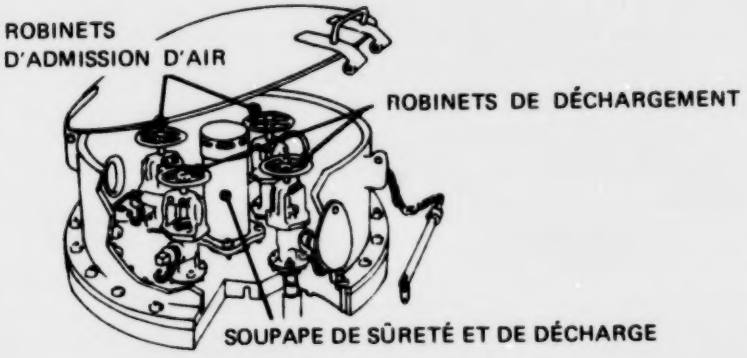
Le sulfure d'hydrogène humide est très corrosif pour l'acier au carbone; la vitesse de corrosion peut atteindre 2,5 mm par année. Les aciers à haute résistance peuvent subir une corrosion du type «crique de tension». Les aciers spéciaux qui satisfont aux exigences sont les suivants: l'acier inoxydable 316 avec 2,5 p. 100 de chrome et 1 p. 100 de molybdène ou, 4 à 6 p. 100 de chrome et 0,5 p. 100 de molybdène ou, des alliages d'aluminium 2-S ou 3-S, ou de l'acier inoxydable 18 - 8 chrome-nickel. Dans le cas des vapeurs de sulfure d'hydrogène on peut utiliser l'acier inoxydable 316 à des températures allant jusqu'à 260 °C et l'acier inoxydable 310 à des températures plus élevées. Le sulfure d'hydrogène humide corrode le cuivre et le laiton, tandis que le gaz sec ne fait que ternir le laiton sans nuire à son utilisation (Matheson, 1981; CE, 1980; CE, 1982; Kirk-Othmer, 1983).

Figure 5

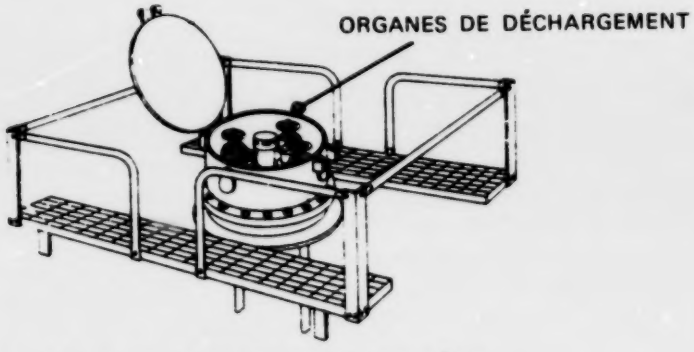
SULFURE D'HYDROGÈNE

WAGON-CITERNE – CLASSE 105A600W

(Références: TCM, 1979; RTDCR, 1974)



DÉTAIL DES ORGANES DE DÉCHARGEMENT



DÉTAIL DE LA PLATE-FORME DE DÔME

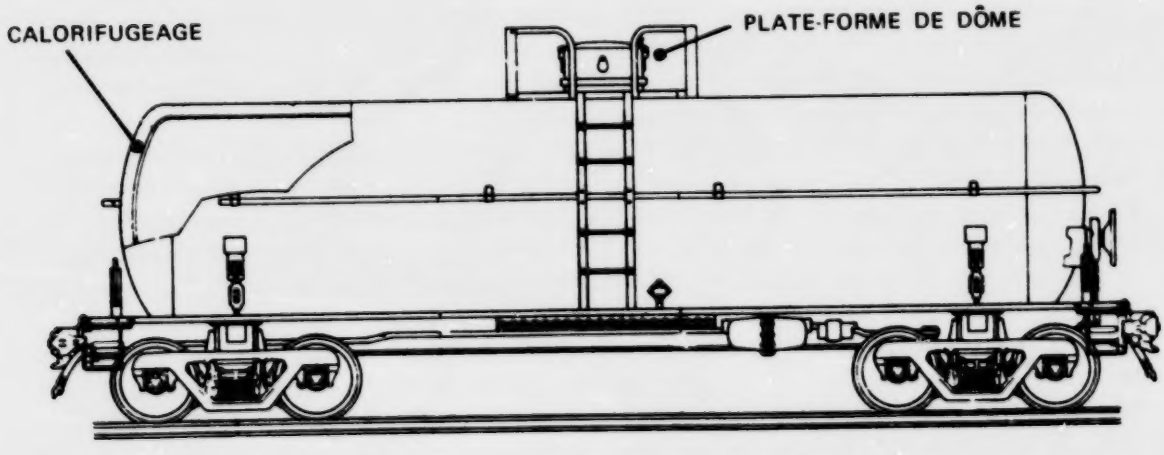


ILLUSTRATION DU WAGON-CITERNE

Les conduites et les raccords en acier au carbone ou en fer noir sans soudure du type Schedule 80 conviennent au sulfure d'hydrogène sec (HSUM, 1969). Si la résistance du matériau de fabrication n'est pas une propriété essentielle, l'aluminium ou l'acier inoxydable peuvent être utilisés (Matheson, 1981).

Les canalisations devraient être préférablement accouplées par des joints à brides ou soudées (HSUM, 1969). Si des joints filetés doivent être utilisés on doit vérifier que les filets sont propres et bien découpés pour s'assurer de leur étanchéité.

Des raccords flexibles en caoutchouc naturel ou une tubulure en acier inoxydable munie de joints articulés devraient être installés entre les réservoirs de stockage et la tubulure rigide de chargement et de déchargement. Les joints d'étanchéité peuvent être de caoutchouc Buna N. Des robinets à membrane en fonte ou en acier moulé avec revêtement intérieur de polyéther chloré ou de chlorure de polyvinylidène doivent être choisis (DCRG, 1978).

On recommande des pompes centrifuges sans joint ou des pompes volumétriques dont l'extrémité d'admission doit être en acier inoxydable 304 ou 316 entièrement recuit. Les bagues d'usure et toute autre pièce pouvant s'user doivent être fabriquées en monel (HSUM, 1979). Les réservoirs de stockage peuvent être fabriqués en acier, bien que l'acier inoxydable puisse satisfaire les conditions de stockage du produit sec et humide à la température ambiante.

4.3 Compatibilité entre le produit et certains matériaux

La compatibilité entre le sulfure d'hydrogène et certains matériaux de fabrication est indiquée au tableau 5.

Voici une brève définition des termes utilisés dans le présent guide pour évaluer les matériaux:

Recommandé: donne satisfaction dans l'utilisation présentée;

Avec réserves: se détériore dans l'utilisation présentée; approprié dans le cas d'une utilisation intermittente ou de courte durée;

Déconseillé: se détériore rapidement dans l'utilisation présentée; ne devrait jamais être utilisé.

Tableau 5
Compatibilité entre le produit et certains matériaux de fabrication

Application	Produit chimique				
	Titre	Temp. (°C)	Recommandé	Réserves	Déconseillé
1. Conduites et raccords	100 %	Non spécifiée, sec	Fer noir (HSUM, 1969; Matheson, 1981)		
	100 %	Non spécifiée, sec	Acier (HSUM, 1969; Matheson, 1981)		
	100 %	Non spécifiée	Caoutchouc naturel (DCRG, 1978)		
	100 %	Non spécifiée	Acier inoxydable (DCRG, 1978)		
	100 %	24, humide	Polyéther chloré (DCRG, 1978)		
	100 %	60, sec	PVC I, PVC II (DPPED, 1967)		
	Solution aqueuse*	60	PVC I, PVC II (DPPED, 1967)		
	100 %	66, sec et humide	Chlorure de polyvinylidène (DCRG, 1978)		
	Solution aqueuse*	66	Chlorure de polyvinylidène (DCRG, 1978)		
	100 %	79, sec et humide	Polypropylène (DCRG, 1978)		
	Solution aqueuse*	79	Polypropylène (DCRG, 1978)		
	100 %	107, sec	Polyéther chloré (DCRG, 1978)		
	Solution aqueuse*	107	Polyéther chloré (DCRG, 1978)		
	Solution aqueuse*	107	Fluorure de polyvinylidène (DCRG, 1978)		
	100 %	135, sec et humide	Fluorure de polyvinylidène (DCRG, 1978)		
	100 %	Limites d'utilisation du matériel, sec	PVC I, acrylonitrile-butadiène-styrène, polyéthylène (MWPP, 1978)		
	Solution aqueuse*	Limites d'utilisation du matériel	PVC I, acrylonitrile-butadiène-styrène (MWPP, 1978)		

*Teneur non spécifiée.

Application	Produit chimique		Recommandé	Réserves	Déconseillé
	Titre	Temp. (°C)			
	Solution aqueuse*	Non spécifiée		Polyéthylène (MWPP, 1978)	
2. Garnitures	100 %	Non spécifiée	Caoutchouc d'acrylonitrile-butadiène (DCRG, 1978)		
3. Soupapes	100 %	Non spécifiée, sec ou humide	Acier ou fonte garni de polyéther chloré (DCRG, 1978)		
	100 %	Non spécifiée, sec ou humide	Acier ou fonte garni de chlorure de polyvinylidène (DCRG, 1978; Kirk-Othmer, 1983)		
	100 %	Non spécifiée, sec et humide	Acier inoxydable 316 (JSSV, 1979)		
	100 %	Non spécifiée, sec	Laiton (Matheson, 1981)		
4. Pompes	100 %	Non spécifiée, sec	Acier inoxydable 304 (HSUM, 1979; Kirk-Othmer, 1983)		
	100 %	Non spécifiée, sec ou humide	Acier inoxydable 316 (HSUM, 1979; Kirk-Othmer, 1983)		
	Solution aqueuse*	Non spécifiée	Acier inoxydable 304, 316 (HIS, 1969)		
5. Stockage	100 %	Ambiante, sec et humide	Acier inoxydable		
	100 %	Non spécifiée, sec	Acier		
6. Autres	100 %	Non spécifiée, sec	Acier inoxydable 304, 316 Acier non allié Aluminium, Inconel Stellite Téflon (comme garniture) (Kirk-Othmer, 1983)		Alliages à base de nickel et à haute teneur en nickel (CE, 1980) Aciers trempés (Kirk-Othmer, 1983)
	100 %	Non spécifiée, humide	Aluminium, acier inoxydable 316 (2,5 % Cr + 1 % Mo) et (4-6 % Cr + 0,5 % Mo) Alliages d'aluminium 2-5, 3-5 Acier inoxydable (chrome-nickel) 18-8 (Kirk-Othmer, 1983)		Aciers, cuivre, laiton, acier non allié (Kirk-Othmer, 1983)

Application	Produit chimique				
	Titre	Temp. (°C)	Recommandé	Réserves	Déconseillé
	100 %	20, sec	Acier inoxydable 302, 304, 316, 430 (ASS)		
	100 %	20, humide	Acier inoxydable 316 (ASS)	Acier inoxydable 302, 304, 430 (ASS)	
	Saturé	21, aqueux	Titane (AMC; FMT)		
	Saturé	Ambiante, aqueux	Tantale (AMC)	Nylon (ZYTEL 101) (CIL, 1964)	
	Concentré	23, aqueux			
	100 %	24, sec	Béton, bois (CDS, 1967)		
	100 %	24, humide		Bois (CDS, 1967)	Béton (CDS, 1967)
	100 %	24-100, sec et humide	Verre (CDS, 1967)		
	100 %	60, sec	PVC n.p. Caoutchouc d'isobutylène-isoprène Polyéthylène Caoutchouc d'éthylène-propylène Polypropylène Caoutchououc fluoré Caoutchouc naturel Polyéthylène chlorosulfonique Caoutchouc d'acrylonitrile-butadiène (GFPS) PVC (TPS, 1978)	Polyoxyméthylène (GFPS)	Polychloroprène (GFPS)
	100 %	49, sec	Polypropylène (TPS, 1978)		
	Solution aqueuse*	49	Polypropylène (TPS, 1978)		
	Saturé	40, aqueux	PVC n.p. Caoutchouc d'isobutylène-isoprène Polyéthylène Caoutchouc d'éthylène-propylène Polypropylène Polyéthylène chlorosulfonique (GFPS)	Caoutchouc naturel Polychloroprène, Caoutchouc d'acrylonitrile-butadiène Caoutchouc fluoré (GFPS)	Polyoxyméthylène (GFPS)
	Solution aqueuse*	60	PVC (TPS, 1978)		

Application	Produit chimique				
	Titre	Temp. (°C)	Recommandé	Réserves	Déconseillé
	Saturé	60, aqueux	Polyéthylène Caoutchouc d'éthylène-propylène Polypropylène Polyéthylène chlorosulfonique Caoutchouc d'isobutylène-isoprène (GFPS)	PVC n.p. Caoutchouc fluoré Caoutchouc naturel (GFPS)	Polyoxyméthylène Polychloroprène Caoutchouc d'acrylo-nitrile-butadiène (GFPS)
	100 %	66, sec		Polypropylène (TPS, 1978)	
	Solution aqueuse*	66		Polypropylène (TPS, 1978)	
	100 %	85, sec	Chlorure de polyvinyle chloré (TPS, 1978)		
	Solution aqueuse*	85	Chlorure de polyvinyle chloré (TPS, 1978)		
	100 %	121, sec	Fluorure de polyvinylidène (TPS, 1978)		
	100 %	< 205	Acier inoxydable 316 (ASS) Caoutchouc d'isobutylène-isoprène Caoutchouc d'éthylène propylène (GPP)	Acier inoxydable 302, 304 (ASS) Polychloroprène (GPP)	Caoutchouc naturel Caoutchouc d'acrylo-nitrile-butadiène Caoutchouc de styrène-butadiène (GPP)
	100 %	≤ 260, vapeur	Acier inoxydable 316 (Kirk-Othmer, 1983)		
	100 %	> 260, vapeur	Acier inoxydable 310 (Kirk-Othmer, 1983)		
	100 %	< 418	Aciers alonisés (≥ 20 % aluminium) (API)		

5 FUITE ET MIGRATION DU PRODUIT

5.1 Aperçu général

Le sulfure d'hydrogène joue un rôle essentiel dans la cyclisation naturelle du soufre. On le trouve dans l'atmosphère à des teneurs qui varient de 3 à 30 $\mu g/m^3$. Il est produit notamment par des bactéries anaérobies présentes dans le sol et les marais. Le sulfure d'hydrogène est un polluant occasionnel qui n'agit que sur le plan local. Les sources anthropiques de pollution sont l'industrie des pâtes et du papier, les éruptions de puits de gaz et les accidents qui se produisent en cours de manutention et de transport. Bien que l'industrie papetière et la manutention du produit soient des sources importantes et nocives de pollution, le transport et les puits de gaz constituent un risque encore plus grand dans la mesure où ils peuvent libérer dans l'environnement d'énormes quantités de sulfure d'hydrogène. L'éruption d'un puits de gaz peut, par exemple, libérer dans l'atmosphère des gaz dont la teneur en sulfure d'hydrogène est de 90 p. 100 ou plus, mais généralement les teneurs sont beaucoup plus faibles et s'échappent dans l'atmosphère à partir d'un point source à un taux relativement constant et au cours d'une période indéterminée. Un accident de chemin de fer impliquant un seul wagon-citerne peut se traduire par une catastrophe quand une quantité allant jusqu'à 68 000 litres de sulfure d'hydrogène est répandue dans l'environnement. Ce type d'accident sera l'objet principal de la présente section. Il faut souligner que le modèle de diffusion des panaches utilisé dans ce cas peut également s'appliquer aux éruptions de puits de gaz qui libèrent des gaz de façon continue.

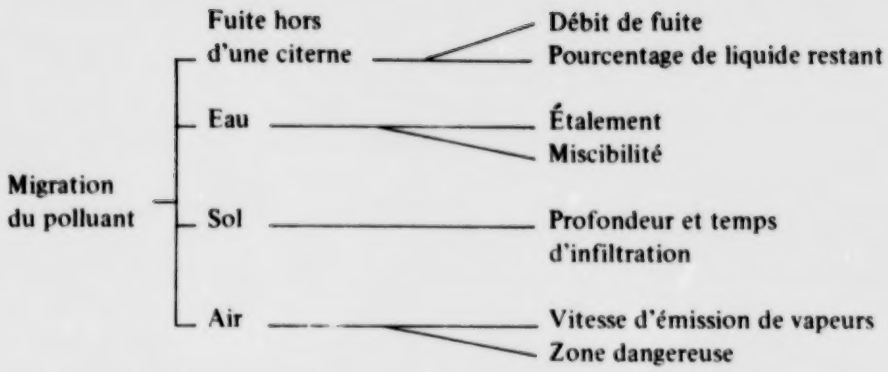
Le sulfure d'hydrogène est transporté sous forme de gaz liquéfié dans des bouteilles de diverses capacités ou dans des wagons-citernes. S'il y a bris d'un wagon-citerne, le gaz s'échappera surtout par l'orifice situé au-dessus du niveau du liquide, tandis que le liquide s'écoulera par un orifice au-dessous de celui-ci.

Lors d'un déversement majeur de sulfure d'hydrogène liquide, une nappe en ébullition s'étalera sur la surface du sol ou de l'eau. Comme le sulfure d'hydrogène est liquéfié sous pression, il se formera d'abord un nuage de vapeurs pendant que la nappe de liquide se mettra rapidement à bouillir en produisant des bruits secs semblables à ceux que fait le maïs grillé, avec formation de vapeurs à cause de la grande volatilité du produit.

Lorsque le sulfure d'hydrogène est déversé dans l'eau, une partie se dissout dans celle-ci pendant qu'une autre partie bout et s'évapore. La vitesse de diffusion des molécules de sulfure d'hydrogène dans l'eau dépend des caractéristiques de l'eau. Le nuage de vapeurs repose près de la surface de l'eau parce que la densité relative de vapeur du sulfure d'hydrogène est supérieure à celle de l'air. La dispersion du nuage dépend des conditions météorologiques.

Lorsque le sulfure d'hydrogène est déversé sur le sol, l'évaporation constitue le phénomène principal et l'adsorption sur les particules de sol, le phénomène secondaire. Le type de sol, l'humidité du sol ainsi que d'autres facteurs influent sur le taux d'adsorption. La migration du polluant jusqu'à la surface de saturation peut créer des problèmes environnementaux.

Voici les facteurs à prendre en considération lorsqu'il y a migration d'un polluant dans l'eau, le sol ou dans l'air.



5.2 Fuite du produit

5.2.1 Introduction. – Le sulfure d'hydrogène est ordinairement transporté par wagons-citernes, sous pression et à la température ambiante. Bien que le modèle de wagon-citerne le plus couramment utilisé a une capacité de 68 000 l, nous avons dû en choisir un en particulier pour établir les nomogrammes de fuite de la collection Enviroguide. Le modèle choisi a un diamètre de 2,75 m, une longueur de 13,4 m et il peut contenir environ 80 000 litres.

Pour faciliter la préparation des nomogrammes, on a posé les hypothèses suivantes sur le débit de fuite du liquide et le taux d'émission des vapeurs:

1) Tout le liquide s'écoule par un orifice qui est situé au-dessous du niveau du liquide.
2) La température du liquide est constante pendant que les vapeurs s'échappent d'un orifice situé au-dessus du niveau du liquide.
3) Tout le liquide de la citerne s'évaporera lorsque l'orifice est situé au-dessus du niveau du liquide.
4) La température ambiante dans la citerne est de 40 °C.

Un accident peut se produire évidemment dans d'autres conditions. On peut imaginer, par exemple, qu'un petit orifice puisse être obturé par de la glace qui se forme pendant l'écoulement du liquide. Un bouchon de glace pourrait également se former dans l'orifice pendant l'émission de vapeurs de sulfure d'hydrogène ainsi qu'une couche de glace à l'interface du liquide et des vapeurs. Lorsque les vapeurs s'échappent de la citerne, les conditions isothermes sont rompues parce que le liquide se refroidit pendant l'évaporation jusqu'à ce que sa température atteigne le point d'ébullition (-60,7 °C) du sulfure d'hydrogène. La réduction du débit de fuite et même l'obturation des orifices peut induire le personnel d'intervention en erreur quant aux quantités de liquide restant dans le wagon-citerne. Enfin, une température ambiante hypothétique de 40 °C dans une citerne contenant du sulfure d'hydrogène liquéfié semble très élevée dans les conditions climatiques du Canada, même en été.

S'il y a rupture de la paroi dans le bas d'une citerne remplie de sulfure d'hydrogène liquéfié, tout le liquide s'écoulera sous l'action de la pesanteur. Grâce aux nomogrammes, on pourra calculer la quantité de liquide restant dans la citerne ainsi que le débit de fuite du liquide, à mesure que le temps s'écoulera. Dans le cas d'un orifice situé dans le bas d'une citerne, le débit de sortie, en l'occurrence, le débit de fuite, se calcule par la méthode dite des orifices, qui utilise une formule corrigée du théorème de Torricelli. Le débit de fuite (q), qui est un débit-volume (q_v), est fonction de la section (s) et de la forme de l'orifice, de la hauteur (h) de liquide au-dessus de l'orifice et du coefficient de débit (Cq) (Streeter, 1971). Pour préparer les nomogrammes, on a supposé un coefficient de débit de 0,8.

S'il y a rupture de la paroi dans le haut de la citerne ou en tout autre point au-dessus du niveau de liquide, on suppose, pour la préparation des nomogrammes, qu'il y aura émission de vapeurs jusqu'à ce que tout le liquide se soit évaporé et que les pressions internes et externes seront équilibrées. On suppose également que la température du liquide sera constante et égale à la température ambiante (temp.). Dans ces conditions, la vitesse d'émission de vapeurs (q_t) sera constante jusqu'à ce que tout le liquide se soit évaporé. La vitesse d'émission de vapeurs est fonction de la pression à l'intérieur de la citerne et égale à la tension de vapeur du liquide en milieu saturé qui est elle-même fonction de la température. Dans le présent cas, on suppose que la température ambiante régnant à l'intérieur de la citerne est de 40 °C et que son contenu exerce une tension de vapeur en milieu saturé de 2900 kPa (voir fig. 1). Si l'émission de vapeurs se produit à température constante, la vitesse d'émission sera maximisée, ce qui représente le pire cas nécessitant une intervention dans une situation où un wagon-citerne est percé au-dessus du niveau de sulfure d'hydrogène liquide.

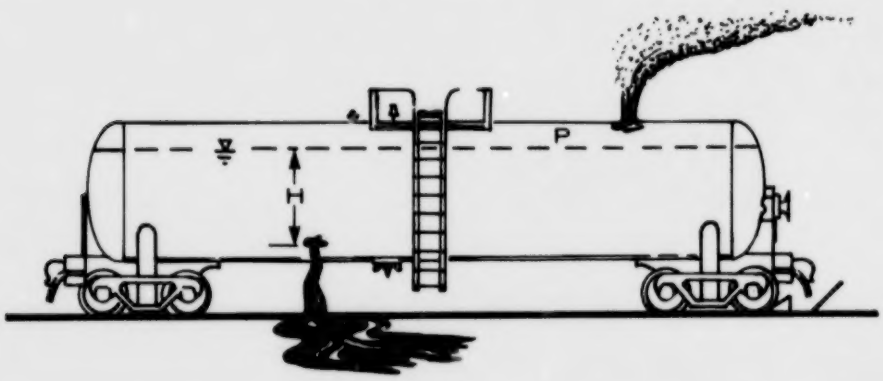


FIGURE 6 **WAGON-CITERNE PERCÉ AU-DESSUS ET AU-DESSOUS DU NIVEAU DU LIQUIDE**

Les nomogrammes présentés plus loin permettent d'obtenir, grâce à une méthode simple, les débits de fuite du liquide ou d'émission de vapeurs en fonction du temps. Comme il est indiqué dans les paragraphes précédents, les nomogrammes sont basés sur les données hypothétiques d'une situation représentant le pire cas. Les modèles utilisés pour calculer les débits de fuite du liquide et d'émission de vapeurs sont décrits en détail dans le Manuel d'introduction Enviroguide.

5.2.2 Nomogrammes relatifs aux fuites au-dessous du niveau de liquide

5.2.2.1 Pourcentage de liquide restant en fonction du temps. – La figure 7 permet d'évaluer le pourcentage de liquide restant dans un wagon-citerne en fonction du temps écoulé depuis le moment du bris et en fonction d'un orifice de diamètre donné. Les diamètres sont des diamètres équivalents et valent pour des orifices de toutes formes.

Dans des conditions isothermes, la tension de vapeur est constante et, par conséquent, le débit de fuite aussi pendant toute la durée de l'écoulement. La tension exercée par les vapeurs sur la surface du liquide est supérieure à la force de la pesanteur.

On suppose que le wagon-citerne type a 2,75 mètres de diamètre, 13,4 mètres de longueur et une capacité de 80 000 litres et qu'il est plein de sulfure d'hydrogène à 40 °C au moment du bris.

5.2.2.2 Débit de fuite du liquide en fonction du diamètre équivalent de l'orifice. – La figure 8 permet d'évaluer le débit de fuite maximal (l/s) en fonction de diamètres équivalents donnés.

5.2.3 Nomogrammes relatifs aux fuites au-dessus du niveau de liquide. – Le même wagon-citerne type et les mêmes hypothèses (voir 5.2.2.1) servent aux nomogrammes suivants.

5.2.3.1 Pourcentage de liquide restant en fonction du temps. – La figure 9 permet d'évaluer le pourcentage de liquide restant dans un wagon-citerne en fonction du temps écoulé depuis le moment du bris et en fonction d'un orifice de diamètre donné. Les diamètres sont des diamètres équivalents pour des orifices de toutes formes. Les conditions étant isothermes, la tension de vapeur et le débit d'émission de vapeurs sont constants. Les données obtenues correspondent au pire cas nonobstant les dimensions du wagon-citerne.

5.2.3.2 Débit d'émission de vapeurs en fonction du diamètre équivalent de l'orifice. – La figure 10 permet d'évaluer le débit d'émission de vapeurs (kg/s) en fonction du diamètre équivalent de l'orifice situé au-dessus du niveau de liquide. Dans le cas d'un orifice de diamètre donné et, selon les hypothèses qui ont été posées, le débit d'émission de vapeurs sera constant jusqu'à évaporation complète du liquide. Il n'y a pas de rapport entre les dimensions du wagon-citerne et les valeurs obtenues de la figure 10. Ces valeurs sont plutôt fonction de la température du liquide qui, à 40 °C, exerce une pression de vapeur de 2900 kPa.

5.2.4 Exemples de calcul

PROBLÈME A

Il y a eu bris d'un wagon-citerne type contenant 80 000 litres de sulfure d'hydrogène à 40 °C. L'orifice est situé au-dessous du niveau de liquide. Son diamètre équivalent est de 150 mm. Quel pourcentage du volume initial de 80 000 litres représente le volume de liquide restant après 0,4 minute?

Solution (voir figure 7): si t = 0,4 mn et D = 150 mm, le volume de liquide restant représente 53 p. 100 (soit 42 000 l) du volume initial.

Quel est le débit de fuite?

Solution (voir figure 8): si D = 150 mm, le débit de fuite instantané (q) = 950 l/s.

PROBLÈME B

Le wagon-citerne du problème A a été percé au-dessus du niveau du liquide. L'orifice a un diamètre équivalent de 250 mm.

Dans combien de temps la citerne se videra-t-elle?

Solution (voir figure 9): si D = 250 mm, la citerne se videra en 4 minutes approximativement. (Il est à noter qu'à ce moment, la citerne contiendra encore 80 000 litres de sulfure d'hydrogène à l'état gazeux, soit 123 kg de H_2S, jusqu'à ce que toutes les vapeurs se soient échappées de la citerne.)

Figure 7

SULFURE D'HYDROGÈNE

POURCENTAGE DE LIQUIDE RESTANT EN FONCTION DU TEMPS D'ÉCOULEMENT

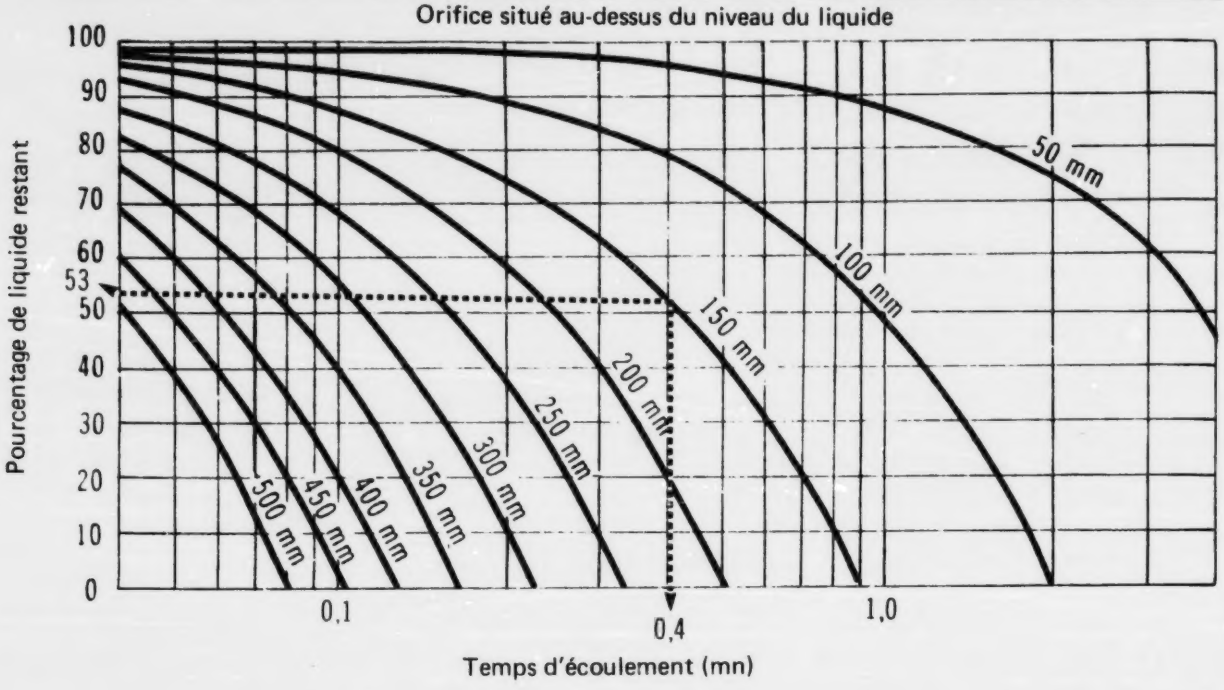


Figure 8

SULFURE D'HYDROGÈNE

DÉBIT DE FUITE/DIAMÈTRE DE L'ORIFICE

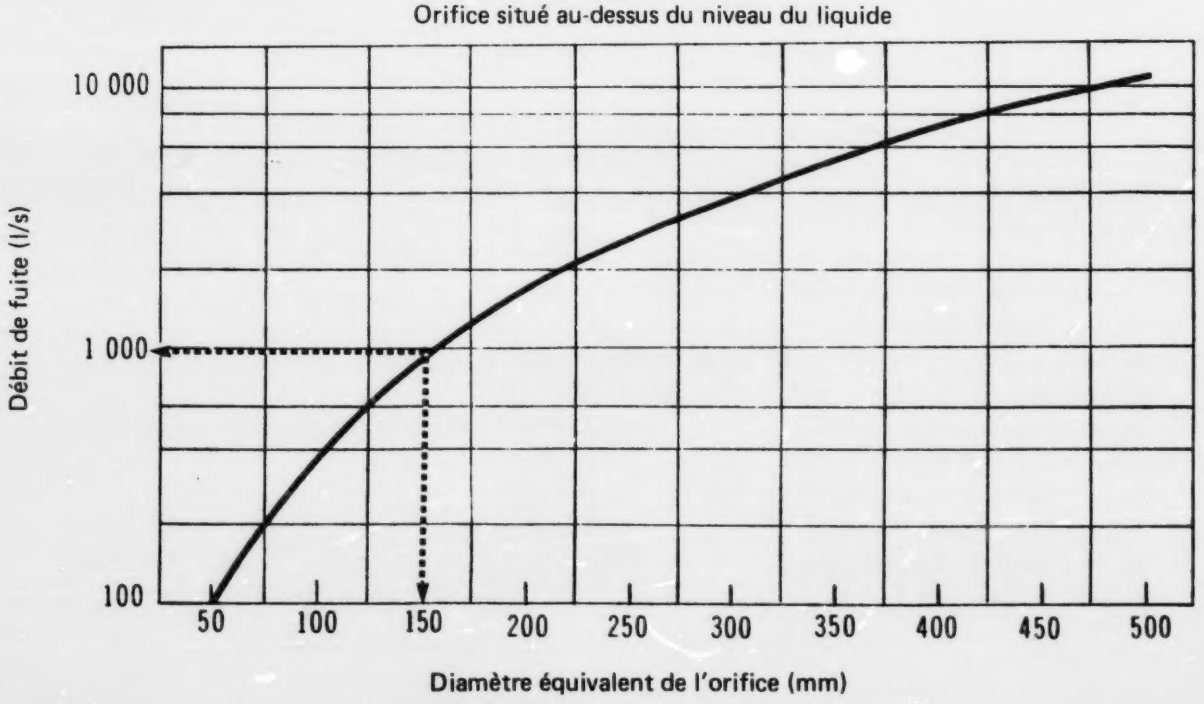


Figure 9

SULFURE D'HYDROGÈNE

POURCENTAGE DE LIQUIDE RESTANT EN FONCTION DU TEMPS D'ÉCOULEMENT

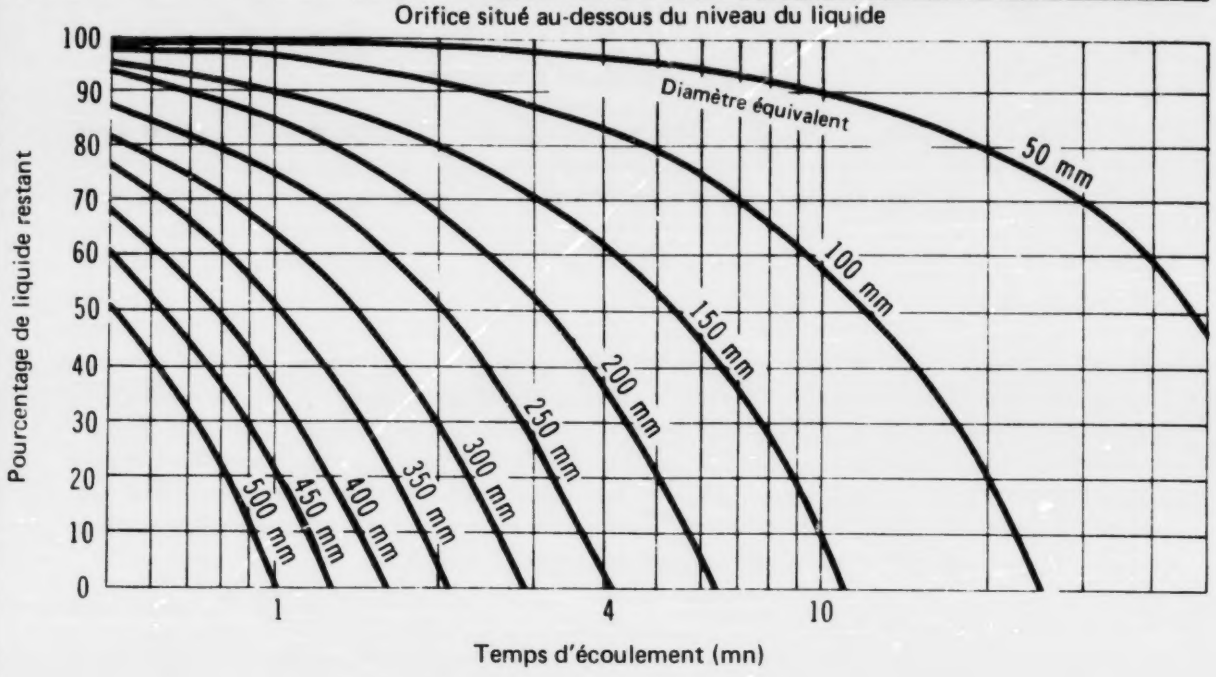
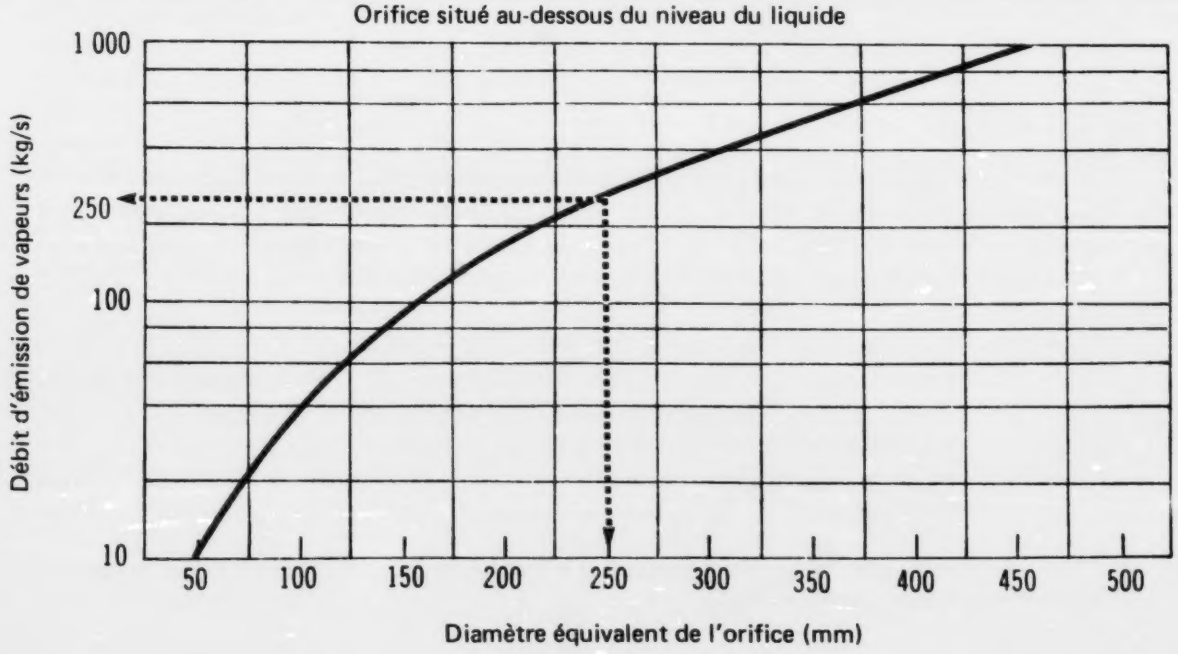


Figure 10

SULFURE D'HYDROGÈNE

DÉBIT D'ÉMISSION DE VAPEURS EN FONCTION DU DIAMÈTRE DE L'ORIFICE



Quel est le débit d'émission de vapeurs?
Solution (voir figure 10): si D = 250 mm et si l'émission de vapeurs se produit dans des conditions isothermes, le débit sera de 250 kg/s.

5.3 Diffusion dans l'atmosphère

5.3.1 Introduction. – Comme le sulfure d'hydrogène à l'état liquide est très volatil, l'évaporation du liquide déversé dans l'eau ou sur le sol est très rapide. La nappe formée entre aussitôt en ébullition et elle tend à s'étaler et à se fragmenter en masses globulaires. Le débit d'émission de vapeurs est si rapide qu'on lui attribue un caractère instantané qui se traduit par la formation d'une bouffée. Il ne sera question dans le présent ouvrage que de ce type d'émission de vapeurs. Il faut souligner, cependant que l'éruption d'un puits de gaz acide dont les émissions de sulfure d'hydrogène sont constantes entraîne la formation d'un panache de vapeurs d'un aspect semblable à celui d'une bouffée de vapeurs. Le panache et la bouffée ont en commun le fait qu'ils proviennent d'un point source mais, d'autre part, comme ils possèdent des caractéristiques différentes, on doit utiliser des méthodes de calcul propres à chacun d'eux.

Pour évaluer les teneurs en vapeurs du côté sous le vent par rapport au lieu de l'accident et déterminer la zone dangereuse sur le plan de la toxicité ou de l'inflammabilité, il faut modéliser le transport et la diffusion (turbulente) des vapeurs dans l'atmosphère. Les modèles utilisés supposent une répartition gaussienne des teneurs au sein du panache: ce sont les plus répandus pour la prévision des teneurs en polluants. (Le lecteur trouvera de plus amples renseignements à ce sujet dans le Manuel d'introduction Enviroguide.)

La figure 11 schématise la diffusion d'une bouffée de polluant à partir d'un point source dont la quantité instantanée de vapeurs émises est égale à la quantité de polluant déversé (q_t). Aussitôt après le déversement, c'est-à-dire au cours de la période initiale, la bouffée de vapeurs de sulfure d'hydrogène se comportera comme un gaz plus lourd que l'air à cause surtout de la densité de vapeur du sulfure d'hydrogène (1,2 fois supérieure à celle de l'air, à 20 °C) et, aussi à cause du fait que la température de la bouffée qui s'est formée rapidement sera plus froide que celle de l'air ambiant. La bouffée restera donc près du sol et les vapeurs s'accumuleront dans les terrains bas au cours de la période initiale du déversement. Le modèle gaussien typique montrera des panaches ou des bouffées plus lourds que l'air dont la forme est plus étroite que celle que l'on observe en réalité.

5.3.2 Nomogrammes de diffusion de la bouffée de vapeurs. – Les nomogrammes de diffusion atmosphérique de la bouffée servent à déterminer la zone dangereuse sur le plan de la toxicité et de l'inflammabilité. Les nomogrammes, figures et tableaux présentés ci-dessous apparaissent dans l'ordre dans lequel ils doivent être utilisés, comme le lecteur pourra s'en rendre compte dans les pages qui suivent.

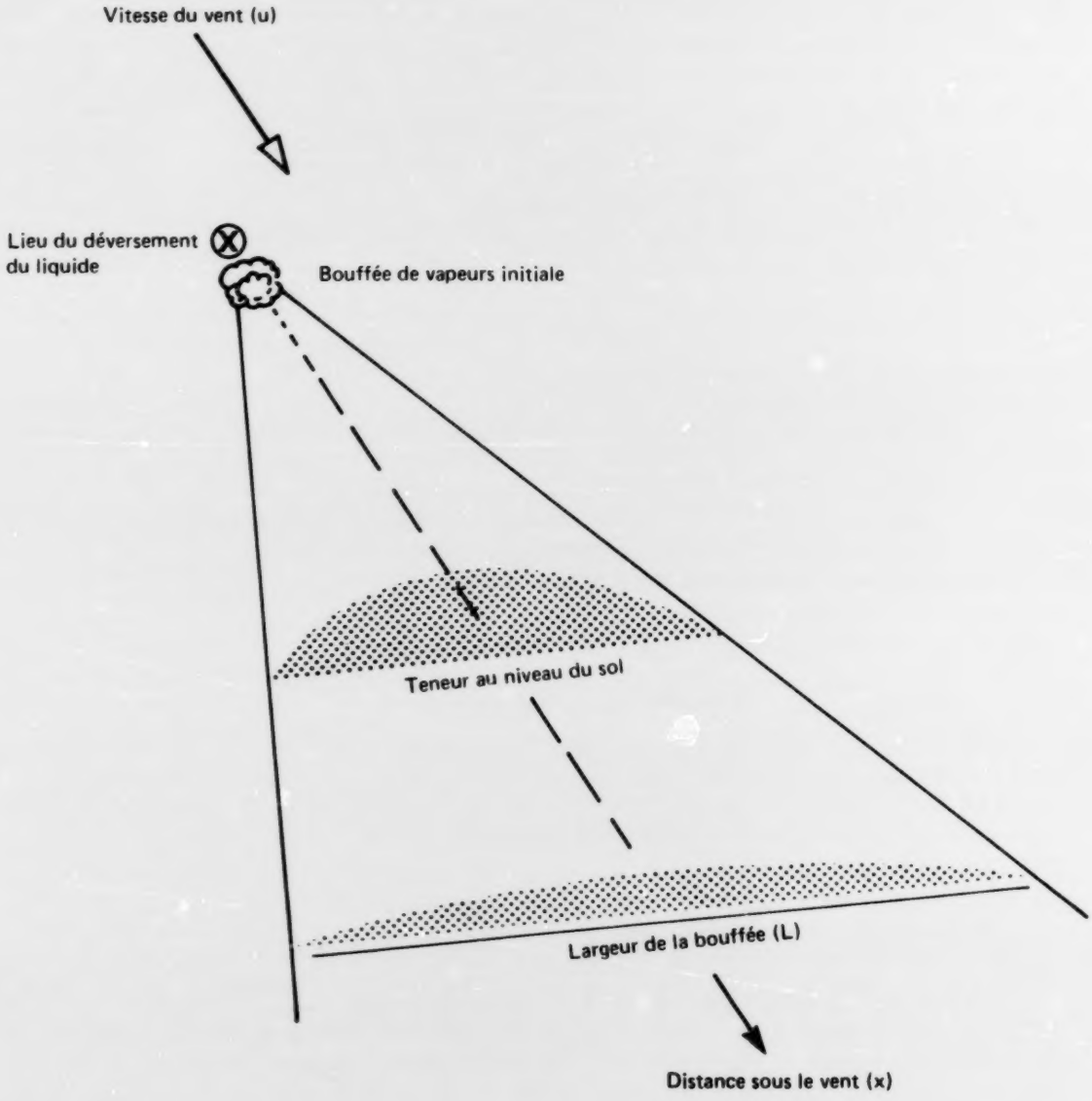
Tableau 7	Conditions météorologiques (catégories de stabilité)
Figure 12	Teneur uniformisée[1] en vapeurs, calculée en fonction d'une distance donnée sous le vent et pour différentes catégories de conditions météorologiques
Tableau 8	Demi-largeurs maximales de la bouffée de polluant
Figure 13	Distance parcourue par la bouffée, calculée en fonction du temps écoulé depuis le déversement et pour différentes vitesses de vent

(1) La teneur uniformisée (on dit aussi «normalisée») en vapeurs est Tu/q_t, c'est-à-dire la teneur en vapeurs de H_2S pour une unité de quantité déversée.

Figure 11

SULFURE D'HYDROGÈNE

SCHÉMATISATION D'UNE BOUFFÉE DE POLLUANT



La figure 14 indique les étapes à suivre dans le calcul de la diffusion des vapeurs et dans le choix des nomogrammes et des tableaux à utiliser. En fait, ce sont les étapes encadrées par un pointillé qui servent dans la présente section. (Les données relatives au volume total de liquide déversé figurent à la section 5.2.) Le lecteur trouvera dans les paragraphes qui suivent l'information relative à chacun des nomogrammes de diffusion et à son utilisation.

5.3.2.1 Teneur en vapeurs en fonction de la distance sous le vent. – La figure 12 illustre la relation qui existe entre la teneur uniformisée en polluant, sous forme de vapeurs, et la distance sous le vent pour les catégories D et F de conditions (météorologiques) de stabilité. Le nomogramme a été établi à l'aide des modèles de diffusion décrits dans le Manuel d'introduction Enviroguide. La teneur en vapeurs est représentée par la teneur uniformisée (Tu/q_t) au niveau du sol le long de la médiane de la bouffée schématisée. La catégorie F est la moins propice à la diffusion de la bouffée; la catégorie D est la plus fréquente presque partout au Canada. Il faut déterminer la catégorie appropriée (tableau 6) avant d'utiliser la figure 12.

Tableau 6
Deux catégories de conditions (météorologiques) de stabilité

Catégorie F	Catégorie D
Vitesse du vent < 11 km/h ($\simeq 3$ m/s) et l'une des conditions suivantes: ciel couvert durant le jour; nuit; forte inversion de température.	Valable pour toutes les autres conditions.

UTILISATION DU NOMOGRAMME

La distance maximale dangereuse du côté sous le vent (x) peut être déterminée à l'aide de la figure 12, si l'on possède les données suivantes:
La masse de vapeurs émise (équivalente à la masse déversée).
Vitesse du vent (u), en m/s;
Catégorie de conditions (météorologiques) de stabilité;
Teneur (T) dangereuse limite, soit la valeur la moindre entre 10 fois la *Threshold Limit Value*® (g/m^3) et la limite inférieure d'inflammabilité (g/m^3). À noter que pour convertir en TLV®, exprimée en ppm, et la L.I.I., en pourcentage de volume en teneurs de g/m^3, il faut utiliser les figures 15 et 16.

Une teneur dangereuse limite, égale à 10 x TLV®, a été choisie de façon arbitraire; elle représente une limite «relativement réaliste» au-delà de laquelle une exposition de courte durée (30 minutes) présente un danger pour la santé. La TLV® est une norme d'exposition de longue durée sur les lieux de travail. Si elle était utilisée comme teneur limite dangereuse, la zone dangereuse atteindrait des proportions démesurées.

5.3.2.2 Demi-largeur maximale de la bouffée dangereuse. – Le tableau 7 présente des valeurs de la demi-largeur maximale de la bouffée $(L/2)max.$ pour une plage de valeurs q_t, en fonction des catégories de stabilité D et F. Ces valeurs ont été calculées à l'aide des modèles de diffusion expliqués dans le Manuel d'introduction Enviroguide, en supposant une teneur dangereuse limite (ce qu'on appelle communément une teneur maximale admissible) égale à 10 fois la TLV® (soit 10 x 0,014 g/m^3 ou 0,14 g/m^3). La demi-largeur de la bouffée dangereuse représente la demi-largeur du nuage de vapeurs de sulfure d'hydrogène situé du côté sous le vent

Figure 12

SULFURE D'HYDROGÈNE

TENEUR UNIFORMISÉE EN VAPEURS EN FONCTION DE LA DISTANCE SOUS LE VENT

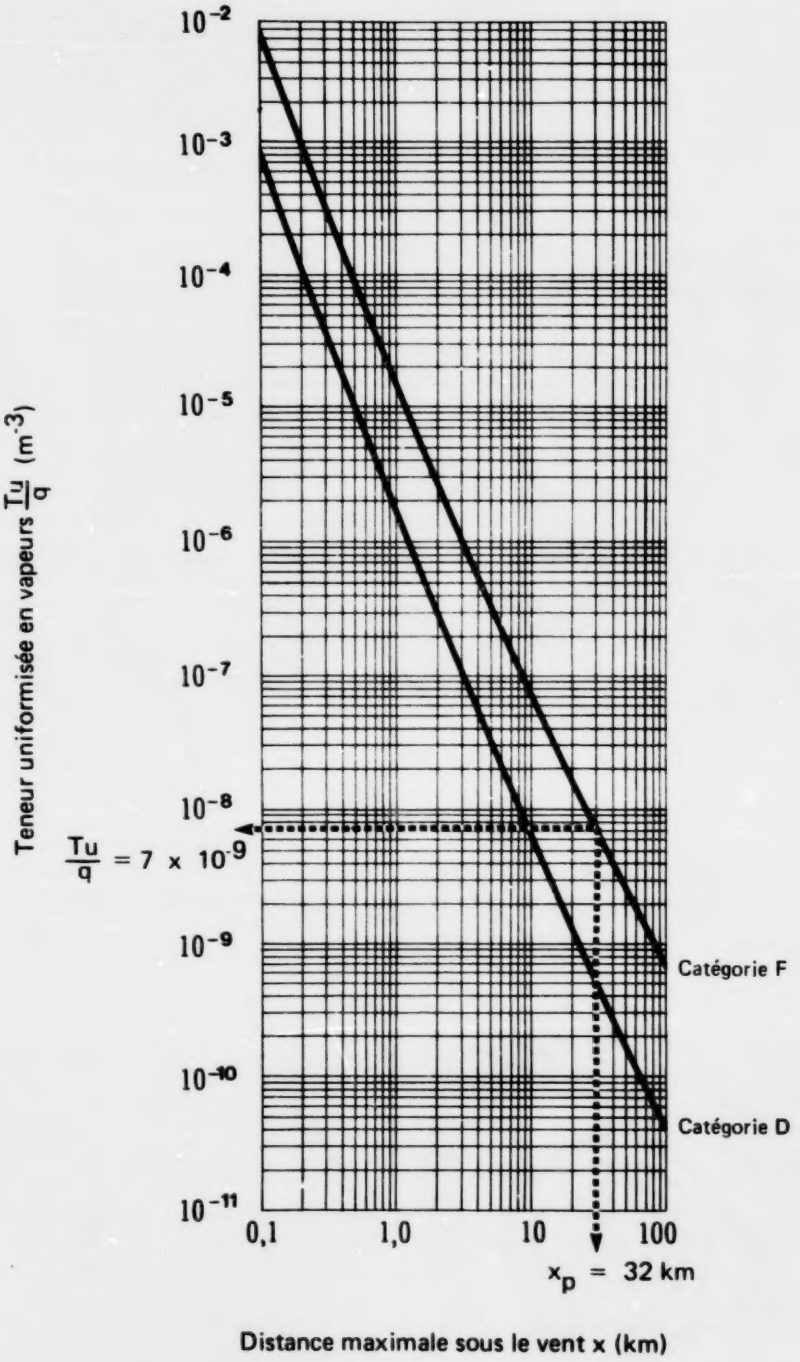


Figure 13

SULFURE D'HYDROGÈNE

DISTANCE PARCOURUE PAR LA BOUFFÉE EN FONCTION DU TEMPS ÉCOULÉ

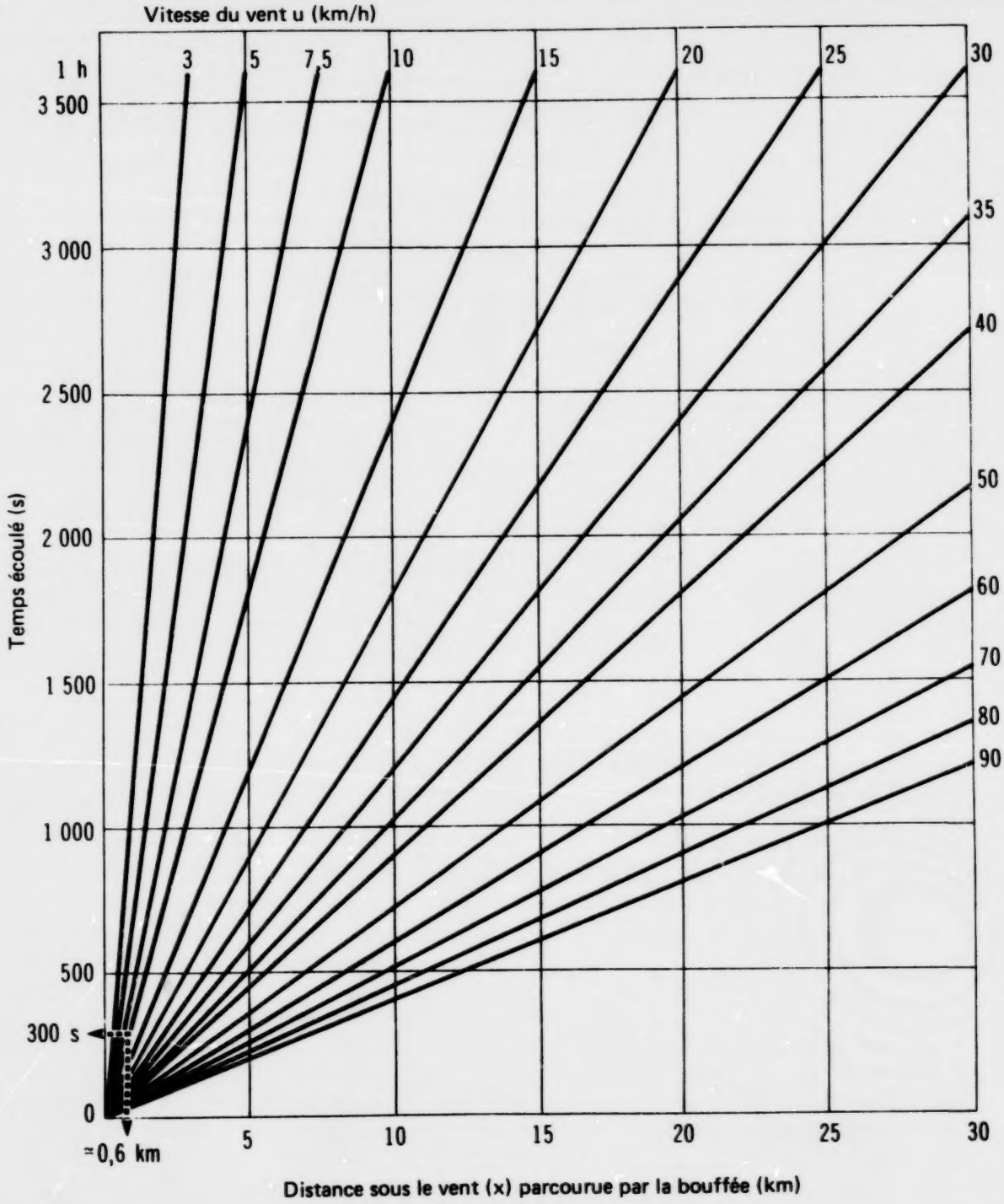


Figure 14

SULFURE D'HYDROGÈNE — **ÉTAPES À SUIVRE POUR DÉTERMINER LA ZONE DANGEREUSE**

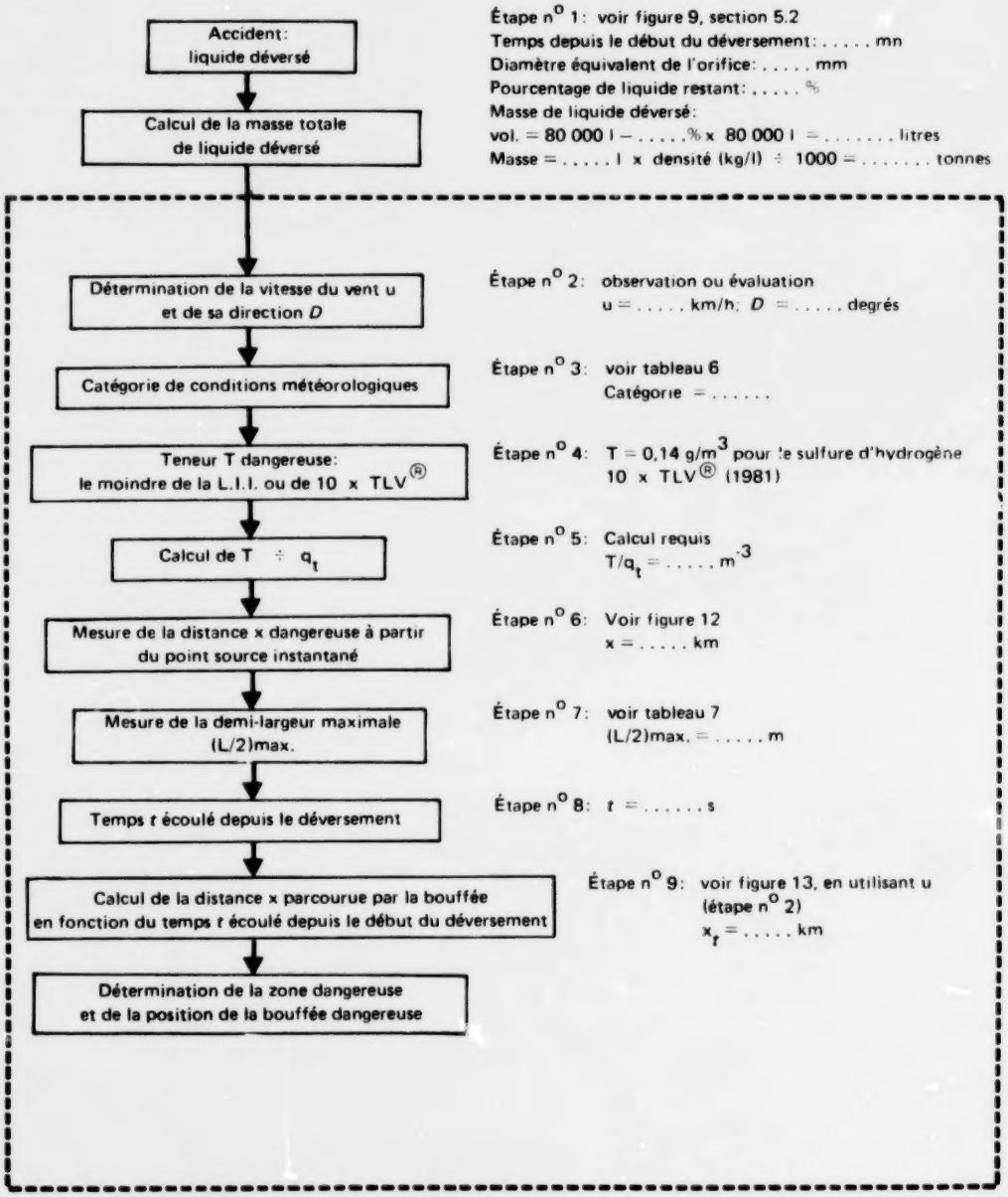
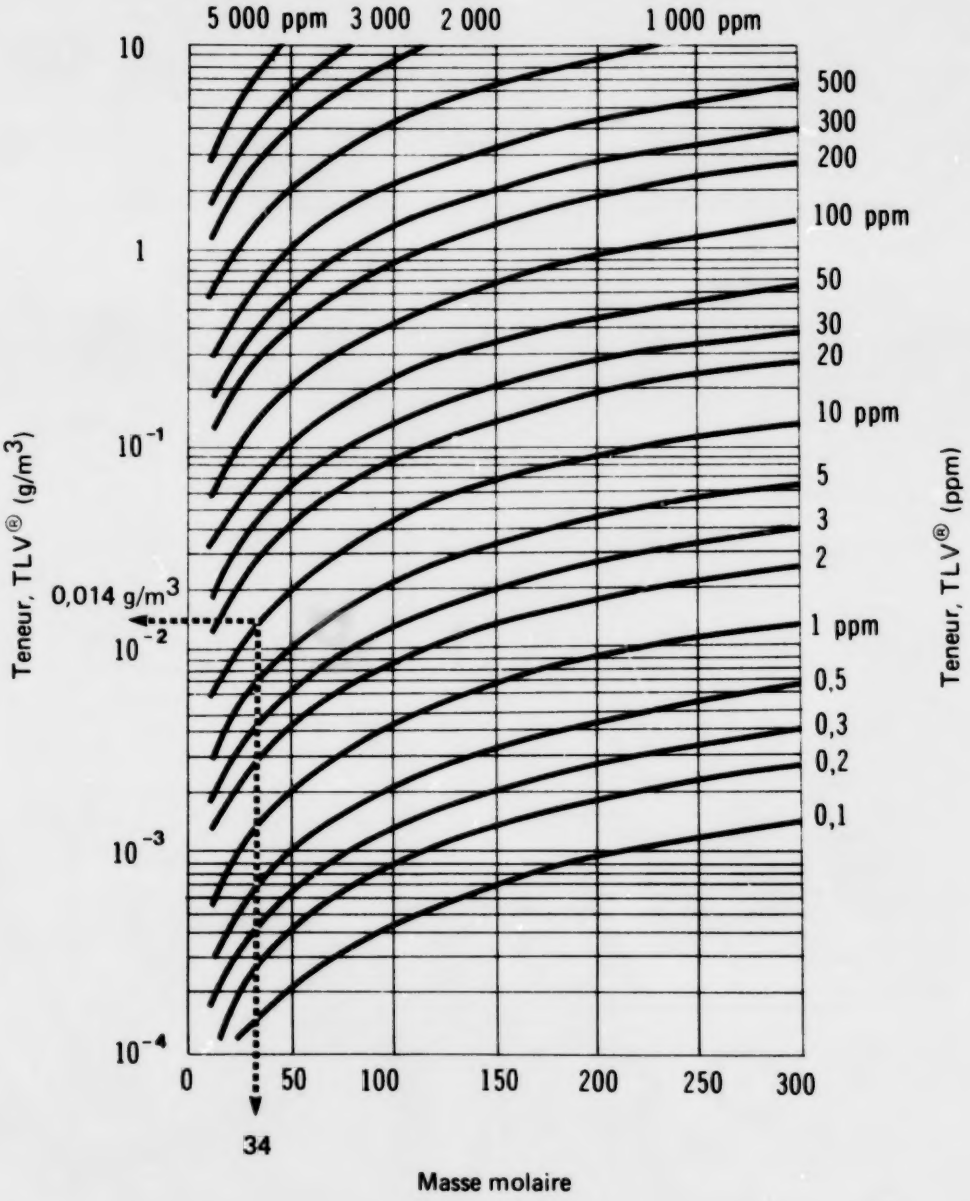


Figure 15

SULFURE D'HYDROGÈNE

CONVERSION DE LA TLV® (ppm à g/m³)

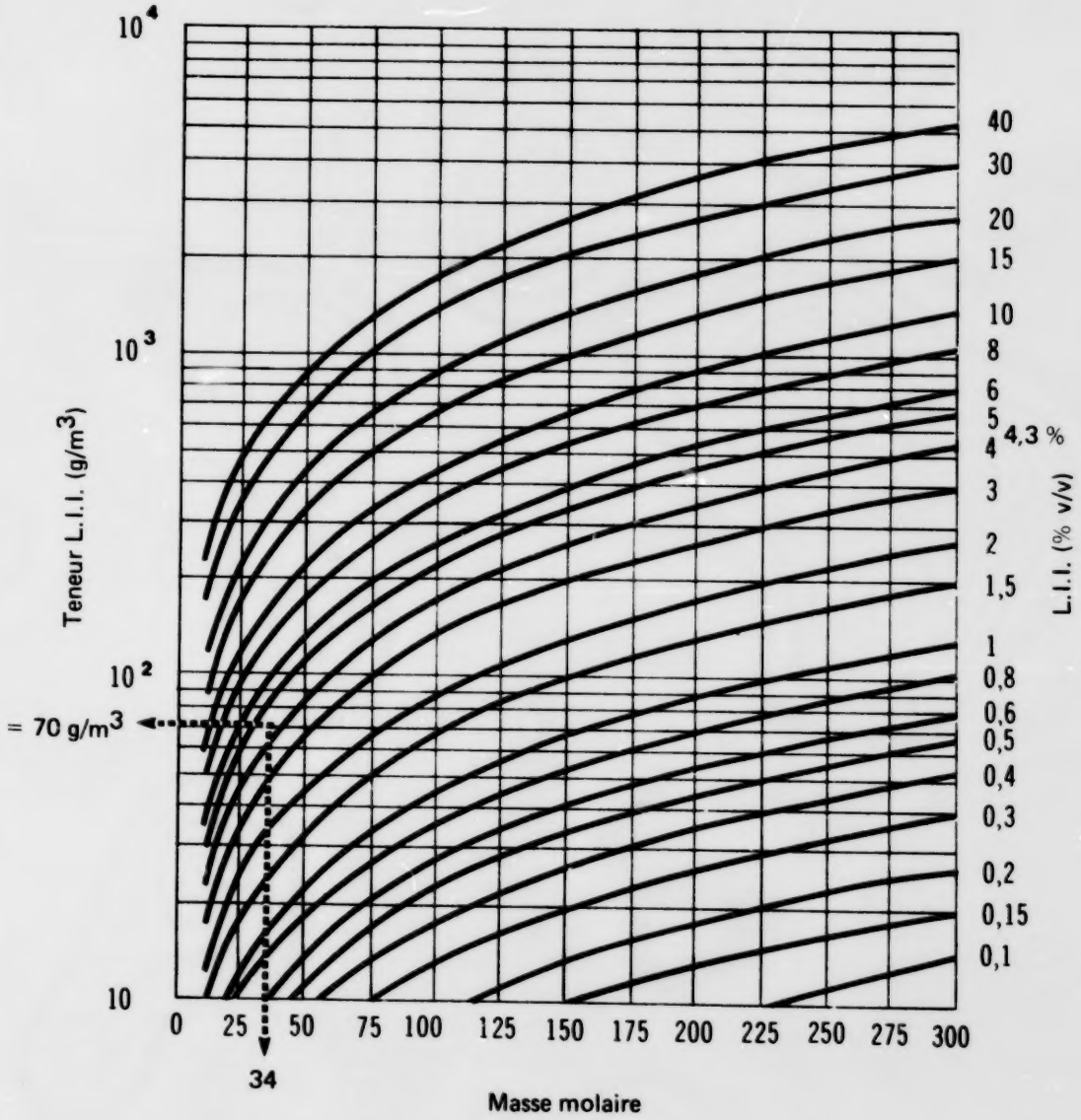


Exemple: MM de sulfure d'hydrogène = 34, TLV® = 10 ppm, alors TLV® en g/m³ = 0,014.
Note: Ces données valent pour une température de 25 °C et une pression atmosphérique de 760 mm de Hg.

Figure 16

SULFURE D'HYDROGÈNE

CONVERSION DE LA L.I.I.
(% de volume à g/m^3)



Exemple: MM de sulfure d'hydrogène = 34, L.I.I. = 4,3 p. 100, alors L.I.I. en g/m^3 = 70.
Note: Ces données valent pour une température de 25 °C et une pression atmosphérique de 760 mm de Hg.

et atteignant une teneur égale à 10 x TLV® . Le tableau 7 ne s'applique donc que dans le cas de cette teneur limite de 0,14 g/m^3. À noter que la distance maximale considérée est de 100 kilomètres.

Dans les conditions (météorologiques) de stabilité D, la plage de vitesses du vent est supérieure à 3 m/s. Quant à l'éventail de débits d'émission (q_t), instantanés, il correspond à un éventail de masses déversées comprises entre 0,05 et 4500 tonnes. Si tout le contenu, soit 80 000 l (17 600 gal imp.) d'un wagon-citerne était déversé, cela représenterait une masse de 73 300 kg (73,3 tonnes). Le tableau 7 pour la catégorie D, fournit des chiffres calculés en fonction de masses jusqu'à 61 fois plus considérables, pour permettre l'évaluation de déversements plus importants.

Tableau 7
Demi-largeurs maximales de la bouffée dangereuse de sulfure d'hydrogène

Catégorie de stabilité D			Catégorie de stabilité F		
q_t (tonnes)	(L/2)max. (m)		q_t (tonnes)	(L/2)max. (m)	
4 500	4 030	(⩽ 99,4 km)*	200	1 820	(⩽ 97,1 km)*
4 000	3 850		175	1 720	
3 500	3 660		150	1 610	
3 000	3 450		125	1 490	
2 000	2 950		100	1 355	
1 500	2 645		75	1 200	
1 000	2 265		50	1 010	
750	2 030		25	750	
500	1 740	q_t = 20 tonnes →	20	680	→ (L/2)max. = 680 m
250	1 335		10	510	
200	1 225		7,5	450	
150	1 095		5	385	
100	940		2,5	295	
75	840		1	205	
50	720		0,75	185	
25	565		0,5	155	
20	520		0,25	120	
10	400		0,1	85	
7,5	360		0,05	65	
5	310				
2,5	240				
1	170				
0,5	135				
0,25	105				
0,1	75				
0,05	60				

Exemple. – Une masse de 20 tonnes de sulfure d'hydrogène déversée dans la catégorie de stabilité F donne une demi-largeur maximale de la bouffée dangereuse de 680 m.
Note. – Le tableau vaut pour une teneur en sulfure d'hydrogène égale à 10 x TLV® ou 0,14 g/m^3.
* Les chiffres sont fournis pour une distance maximale sous le vent de 100 km.

Dans les conditions (météorologiques) de stabilité F, la plage de vitesses du vent s'étend de 1 à 3 m/s. Quant à l'éventail de débits d'émission (q_t) instantanés, il correspond à un éventail de masses déversées comprises entre 0,05 et 200 tonnes. Le tableau 7 pour la catégorie F, fournit des chiffres calculés en fonction de masses atteignant jusqu'à 2,75 fois le contenu d'un wagon-citerne standard.

UTILISATION DU NOMOGRAMME

À partir de valeurs connues de q_t et en fonction d'une catégorie donnée de stabilité, choisissez la valeur q_t la plus proche fournie dans le tableau et la demi-largeur maximale correspondante. Si vous désirez un résultat un peu plus précis, déterminez par interpolation les valeurs q_t et (L/2)max. (Voir également l'exemple qui accompagne le tableau 7.)

5.3.2.3 Distance parcourue par la bouffée en fonction du temps écoulé. – La figure 13 indique la distance (x) parcourue par la bouffée après un temps (t) de déplacement pour une vitesse de vent (u) donnée. Il s'agit de la représentation graphique de la relation $x_t = ut$ appliquée à un éventail de vitesses de vent courantes.

UTILISATION DU NOMOGRAMME

La vitesse du vent (u) et le temps (t) de déplacement de la bouffée étant connus, la distance (x_t) parcourue du côté sous le vent peut être obtenue.

5.3.3 Exemple de calcul. – L'exemple donné ci-dessous illustre les étapes à suivre dans le calcul qui permet de déterminer la zone dangereuse du côté sous le vent du lieu où se produit un déversement. L'utilisateur prendra note des limites des méthodes de calcul décrites dans le présent guide ou dans le Manuel d'introduction Enviroguide. Les estimations ne valent que pour les conditions précisées. Il est souhaitable que l'utilisateur, dans un cas de déversement réel, se serve de données connues ou observables (par exemple en ce qui concerne la masse déversée).

DONNÉES DU PROBLÈME

Au cours de la nuit, vers 2 h, 20 tonnes de sulfure d'hydrogène ont été déversées sur un sol plat. Il est maintenant 2 h 05. La température est de 20 °C et le vent souffle du nord-ouest à une vitesse de 7,5 km/h. Déterminer la zone de vapeurs dangereuses.

ÉTAPES DU CALCUL

Étape 1 La masse de liquide déversée est de 20 tonnes donc q_t = 20 tonnes ou 20 x 10^6 g.

Étape 2 Déterminer la vitesse du vent u et sa direction D.
Utiliser l'information accessible sur les conditions météorologiques, de préférence à partir d'observations faites sur le terrain. Ici:
u = 7,5 km/h; u = 7,5 ÷ 3,6 = 2,1 m/s;
D = N.-O. ou 315° (D = direction d'où souffle le vent).

Étape 3 Déterminer la catégorie appropriée de conditions météorologiques.
Le tableau 6 permet d'établir qu'il s'agit de la catégorie F, puisque u < 11 km/h et que le déversement se produit au cours de la nuit.

Étape 4 Déterminer la teneur T dangereuse limite.
Opter pour la valeur la moindre entre 10 x TLV® et la limite inférieure d'inflammabilité; dans le cas présent, T = 0,14 g/m^3 (TLV® = 0,014 g/m^3 et la L.I.I. = 70 g/m^3).

Étape 5 Calculer T/q_t

$$T/q_t = \frac{0,14}{2 \times 10^7} = 7 \times 10^{-9}\ m^{-3}$$

Étape 6 Calculer la distance dangereuse (x) à partir du point source instantané.
Voir figure 12. Pour une catégorie F de conditions météorologiques, si $T/q_t = 7 \times 10^{-9}\ m^{-3}$, x $\simeq$ 32 km.

Étape 7 Calculer la demi-largeur maximale de la bouffée dangereuse.
Se servir du tableau 7. Comme q_t = 20 tonnes, sous la catégorie F de conditions météorologiques (L/2)max. = 680 m.

Étape 8 Déterminer le temps *t* écoulé depuis le début du déversement.
t = 5 mn x 60 = 300 s.

Étape 9 Calculer la distance sous le vent x parcourue par la bouffée depuis le début du déversement.
Se servir de la figure 13. Comme *t* = 300 s et u = 7,5 km/h.
x_t = 0,6 km (plus précisément: u*t* = 2,1 m/s x 300 s = 630 m = 0,63 km).

Étape 10 Schématiser la zone dangereuse.
Cela se fait en formant un rectangle dont deux des côtés opposés mesurent (chacun) deux fois la demi-largeur maximale de la bouffée dangereuse (680 m), alors que les deux autres côtés mesurent (chacun) l'équivalent de la distance maximale dangereuse sous le vent à partir du point source instantané soit 32 km, et sont orientés dans la direction du vent (voir figure 17).
Si le vent ne fluctue que de 20° (315° ± 10°), le schéma de la zone dangereuse correspond à la figure 18.
Note. – Au cours des 5 minutes qui se sont écoulées depuis le début du déversement, la bouffée a franchi seulement 0,63 km. Sous un vent de 7,5 km/h, il s'écoulerait encore 250 minutes avant que la bouffée ne franchisse la distance maximale dangereuse sous le vent, soit 32 km.

5.4 Comportement dans l'eau

5.4.1 Introduction. – Déversé dans l'eau, le sulfure d'hydrogène liquide s'étale sur la surface et s'évapore rapidement. Comme le sulfure d'hydrogène est soluble dans l'eau, une portion de celui-ci se dissoudra.

Deux cas ont été considérés dans la préparation des nomogrammes. Dans le premier cas, l'étalement a été estimé en supposant qu'aucune quantité de sulfure d'hydrogène liquide ne s'est dissous avec l'eau et que les seules pertes sont dues à l'évaporation. Dans le deuxième cas, la pollution de l'eau a été estimée en supposant que tout le sulfure d'hydrogène s'est dissous dans l'eau et qu'il n'y a aucune perte par évaporation. Ces deux cas représentent les pires situations en ce qui concerne l'étalement du sulfure d'hydrogène sur l'eau et la pollution de l'eau.

5.4.2 Étalement sur l'eau. – La vitesse d'étalement du produit sur l'eau dépend des rapports de forces qui favorisent l'étalement comme la gravité et la tension superficielle et celles qui s'y opposent comme l'inertie et la viscosité. Comme les liquides cryogéniques tels que le sulfure d'hydrogène s'évaporent rapidement, on estime que seule l'action initiale de la gravité et de l'inertie s'applique au processus d'étalement (Phani, 1974). L'étendue maximale de la nappe de liquide déversé dépend dans une grande mesure de la vitesse d'évaporation.

Les équations qui décrivent l'étalement d'une nappe de sulfure d'hydrogène liquide déversé dans l'eau sont présentées dans le Manuel d'introduction Enviroguide. Pour préparer le nomogramme, on a supposé que la température de l'eau était de 20 °C, ce qui représente un maximum

Figure 17

SULFURE D'HYDROGÈNE

ZONE DANGEREUSE MAXIMALE SOUS UN VENT INVARIABLE
EXEMPLE DE PROBLÈME

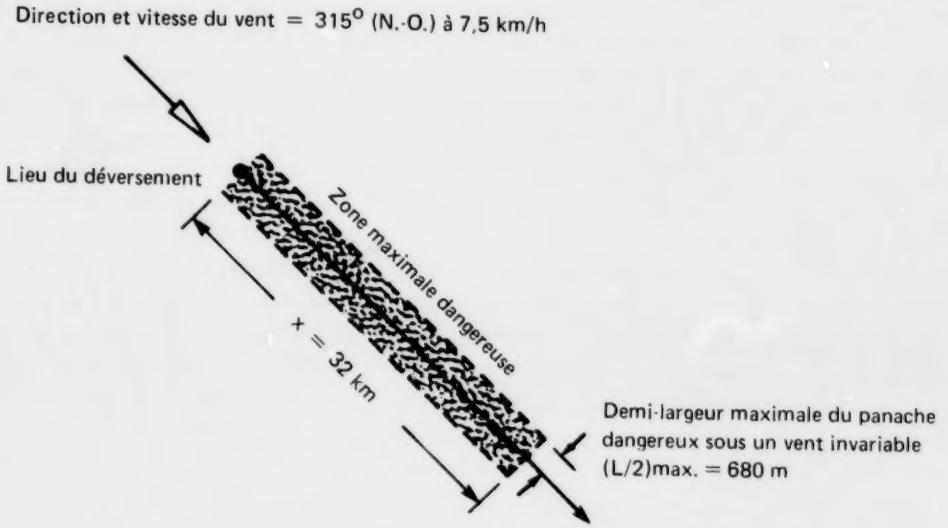
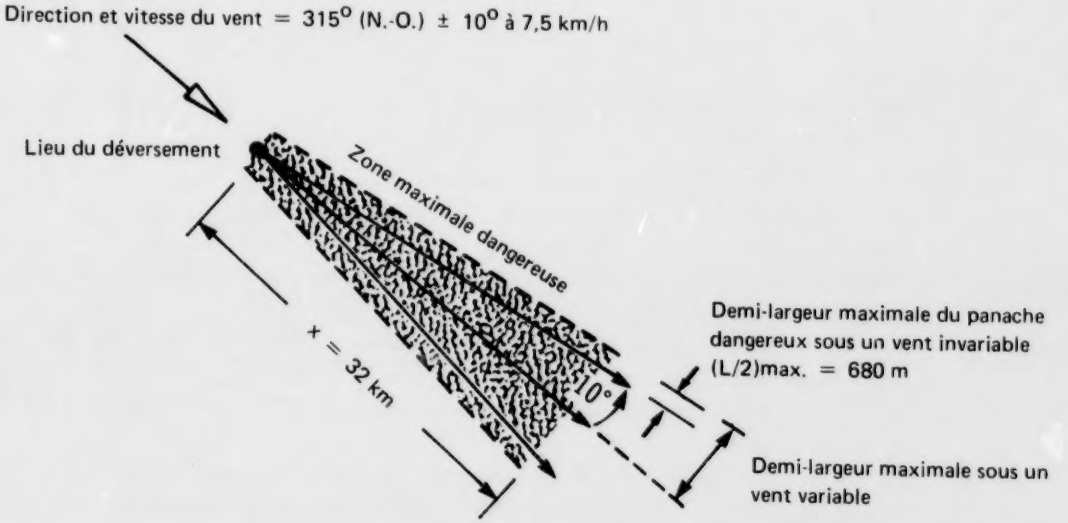


Figure 18

SULFURE D'HYDROGÈNE

ZONE DANGEREUSE MAXIMALE SOUS UN VENT VARIABLE
EXEMPLE DE PROBLÈME



= x X 1000 X tangente 10° + (L/2)max.
= 32 X 1000 X tangente 10° + 680 m
= 6320 m ou 6,3 km

acceptable à la surface d'une étendue d'eau au cours de l'été au Canada. Dans de telles conditions, le liquide déversé s'étale au maximum en supposant qu'il n'y ait aucune dissolution du produit dans l'eau.

5.4.3 Mélange avec l'eau. – Dans le deuxième cas, on a posé comme hypothèse que tout le sulfure d'hydrogène liquide déversé se dissout rapidement et qu'il n'y a aucune perte par évaporation. En général, le phénomène de mélange et de dissolution peut être décrit par les équations de diffusion classique, comportant un ou plusieurs coefficients de diffusion. Dans les rivières, le mélange est surtout le résultat d'un écoulement turbulent; alors que dans une étendue d'eau calme, il s'effectue par diffusion moléculaire.

Pour évaluer la teneur en polluant de l'eau d'une rivière en aval d'un lieu de déversement, les auteurs ont utilisé un modèle de diffusion turbulente. Ce modèle s'applique aux liquides miscibles dans l'eau, de densité équivalente à celle de l'eau et aux solides qui se dissolvent dans l'eau. Comme la densité relative du sulfure d'hydrogène est inférieure à celle de l'eau, la teneur maximale devrait être observée près de la surface pour des cours d'eau peu turbulents.

Le modèle utilisé est unidimensionnel; il établit un canal rectangulaire théorique et suppose une teneur uniforme en polluant dans toute section donnée de l'écoulement (section mouillée). En pratique, une telle uniformité n'est possible qu'en des points situés assez loin en aval du lieu du déversement, là où les mécanismes de mélange et de turbulence ont joué suffisamment pour produire une répartition égale du sulfure d'hydrogène dissout à travers le canal. Le modèle s'applique aux rivières dont le rapport largeur/profondeur est inférieur à 100. Il postule également un coefficient de rugosité de Manning de 0,03. (Pour plus de détails au sujet de ce modèle, voir le Manuel d'introduction Enviroguide.)

En ce qui a trait à la diffusion moléculaire dans une étendue d'eau calme, aucun modèle n'a été élaboré. Les auteurs ont établi des nomogrammes permettant de délimiter la zone dangereuse et de calculer la teneur moyenne dans cette zone en fonction de la masse de liquide déversé, indépendamment du temps écoulé.

5.4.4 Nomogrammes. – Le lecteur trouvera ci-dessous la liste des nomogrammes servant à déterminer l'étalement en eau calme (aucune dissolution), et les teneurs en polluant dans les rivières non soumises aux marées et dans les étendues d'eau calme (aucune évaporation).

A. – Étalement en eau calme

Figure 19 Rayon maximal de la nappe en fonction de la masse déversée et temps nécessaire à l'évaporation totale

B. – Diffusion dans les rivières non soumises aux marées

Figure 20 Distance en fonction du temps pour une plage de vitesses moyennes de l'écoulement

Figure 21 Rayon hydraulique en fonction de la largeur du canal pour une plage de profondeur du canal (hauteur d'eau)

Figure 22 Coefficient de diffusion turbulente en fonction du rayon hydraulique pour une plage de vitesses moyennes de l'écoulement

Figure 23 Alpha* en fonction du coefficient de diffusion turbulente pour différentes valeurs de temps écoulé

Figure 24 Delta* en fonction de alpha pour différentes masses de liquide déversé

Figure 25 Teneur maximale en fonction de delta pour des sections mouillées de différentes surfaces

*Alpha et delta ne sont que des facteurs de conversion: leur utilité est de faciliter le calcul des teneurs en aval du lieu du déversement.

C. – Dissolution dans les étendues d'eau calme ou les lacs (au repos)

Figure 26 Volume d'eau en fonction du rayon de la zone dangereuse pour différentes profondeurs du lac (hauteurs d'eau)

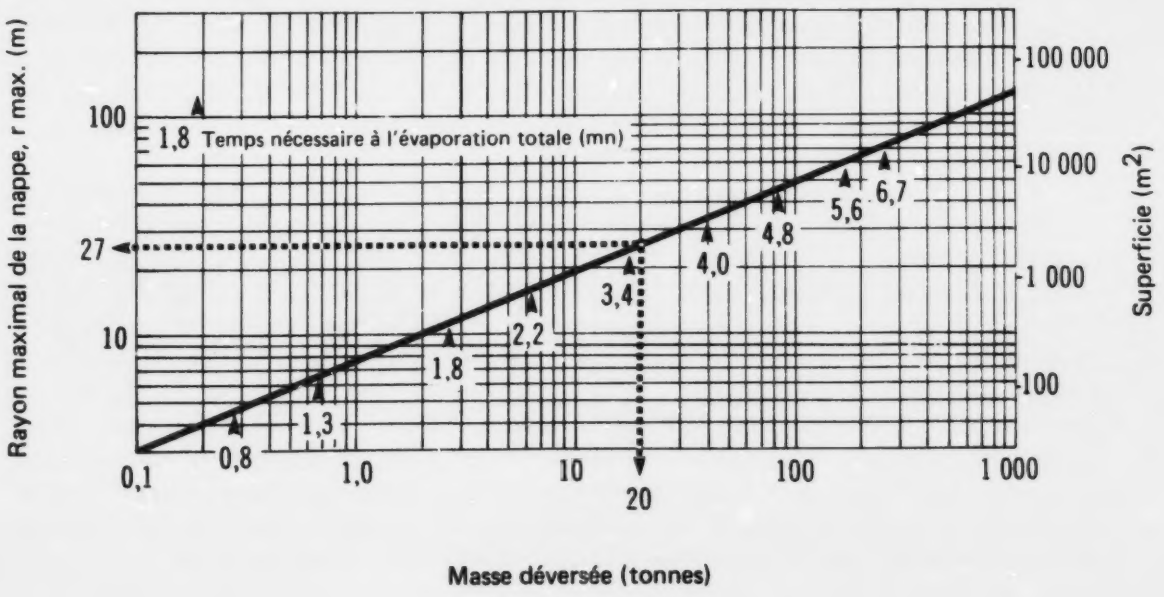
Figure 27 Teneur moyenne en fonction du volume d'eau de la zone dangereuse pour différentes masses de liquide déversé

5.4.4.1 Rayon maximal de la nappe en fonction de la masse déversée. – La figure 19 fournit un moyen simple d'estimer le rayon maximal de la nappe de sulfure d'hydrogène liquide si la masse déversée est connue. Le nomogramme est basé sur des données présentées dans le Hazard Assessment Handbook (CHRIS, 1974) et sur un modèle mathématique de l'étalement et de l'évaporation simultanés d'un liquide cryogénique déversé dans l'eau (Phani, 1974). L'échelle des minutes du nomogramme permet d'estimer le temps nécessaire à l'évaporation complète de la nappe. Les intervalles étant courts, on n'a pas tracé l'échelle de temps complète de l'étalement de la nappe. De la même façon, la distance parcourue par la nappe sous l'effet des vents ou du courant de surface n'a pas été incluse dans les calculs.

Figure 19

SULFURE D'HYDROGÈNE

RAYON MAXIMAL DE LA NAPPE EN FONCTION DE LA MASSE DÉVERSÉE



5.4.4.2 Teneur en polluant dans les rivières non soumises aux marées. – La figure 28 présente les étapes à suivre pour évaluer la teneur en un point en aval après un déversement et indique les nomogrammes à utiliser; ces derniers (figures 20 à 27) sont expliqués dans les paragraphes qui suivent.

5.4.4.2.1 Nomogrammes de diffusion dans les rivières non soumises aux marées

Figure 20 Distance en fonction du temps. – Le graphique montre les relations entre la vitesse moyenne de l'écoulement, le temps écoulé et la distance parcourue. Pour une vitesse moyenne de l'écoulement (V) donnée, le temps (t) que met le polluant pour atteindre un point situé à une distance (x) donnée en aval du lieu du déversement peut être obtenu rapidement à l'aide de ce graphique.

Figure 21 Rayon hydraulique en fonction de la largeur du canal. – Le modèle choisi pour évaluer la teneur en polluant en aval du lieu du déversement comporte un canal rectangulaire théorique de largeur (L), ayant une hauteur d'eau (h). Le rayon hydraulique (r) doit être connu pour calculer le coefficient de diffusion turbulente (E). Le rayon hydraulique lui-même correspond au rapport de la surface de la section (s) mouillée (ou section de l'écoulement) au périmètre mouillé (B). La figure 21 permet de déterminer le rayon hydraulique d'un canal à partir de la largeur de ce dernier et de la hauteur d'eau.

Figure 22 Coefficient de diffusion turbulente en fonction du rayon hydraulique. – Les données connues sur le rayon hydraulique (r) et sur la vitesse moyenne de l'écoulement (V) permettent de déterminer le coefficient de diffusion turbulente (E).

Figure 23 Alpha en fonction du coefficient de diffusion turbulente. – Le nomogramme permet d'obtenir le facteur de conversion (α); ce dernier est fonction du coefficient de diffusion turbulente (E) et du temps (t) requis pour atteindre un point situé en aval du lieu du déversement.

Figure 24 Delta en fonction de alpha. – Un second facteur de conversion, delta (Δ), est requis pour évaluer la teneur en polluant en un point donné. Delta est fonction d'alpha et de la masse de liquide déversé.

Figure 25 Teneur maximale en fonction de delta. – Il s'agit de la dernière étape dans la détermination de la teneur maximale en polluant en un point situé en aval du lieu du déversement. En se servant du facteur delta et connaissant la surface de la section mouillée (s), le lecteur trouve rapidement la teneur. La valeur obtenue vaut pour les liquides miscibles dans l'eau, de densité équivalente à celle de l'eau, et pour les solides solubles dans l'eau; elle variera quelque peu dans le cas de polluants dont la densité relative est supérieure ou inférieure à celle de l'eau.

5.4.4.3 Nomogrammes de diffusion dans les étendues d'eau calme ou les lacs (au repos)

Figure 26 Volume d'eau en fonction du rayon. – L'étendue d'eau calme (ni vent, ni courant) touchée par le déversement d'un liquide miscible (dans l'eau), de densité équivalente à celle de l'eau, est représentée par un cylindre théorique de rayon (r) et de longueur (h) égale à la hauteur d'eau à l'endroit où le déversement se produit. Le volume d'eau peut être obtenu à l'aide de la figure 26. Le rayon (r) équivaut à la distance (x) entre le lieu du déversement et le point en aval où la teneur est mesurée.

Figure 27 Teneur moyenne en fonction du volume d'eau. – Pour un volume d'eau connu du cylindre théorique, le nomogramme permet d'établir une teneur moyenne en polluant selon la masse de liquide déversé. Il est pris pour acquis que la diffusion du polluant est uniforme dans le cylindre. En pratique, dans le cas de substances dont la densité relative est supérieure ou inférieure à celle de l'eau, la teneur réelle près du fond sera plus forte ou plus faible.

Figure 20

SULFURE D'HYDROGÈNE — DISTANCE EN FONCTION DU TEMPS

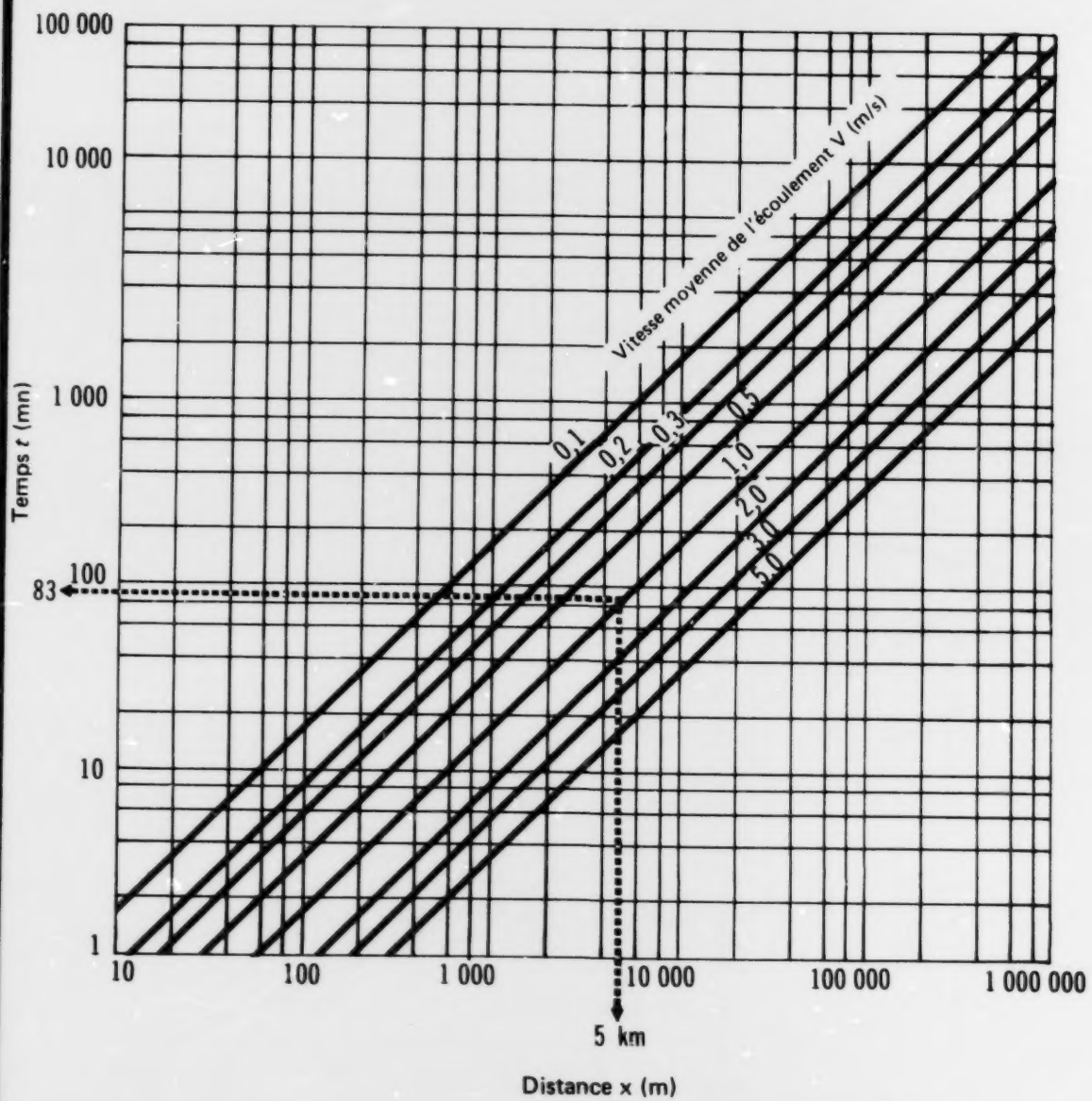


Figure 21

SULFURE D'HYDROGÈNE

RAYON HYDRAULIQUE EN FONCTION DE LA LARGEUR DU CANAL

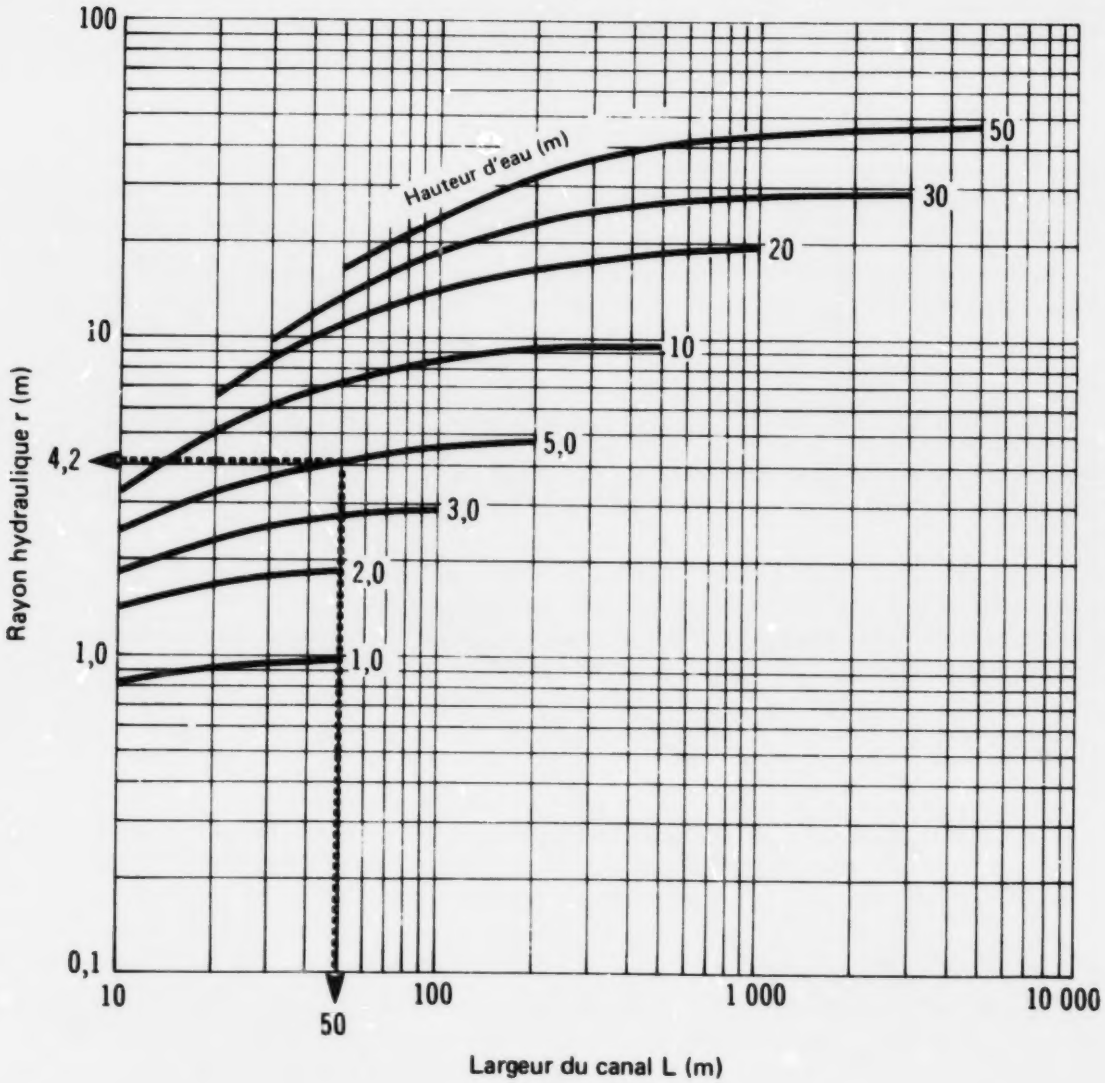


Figure 22

SULFURE D'HYDROGÈNE

COEFFICIENT DE DIFFUSION TURBULENTE EN FONCTION DU RAYON HYDRAULIQUE

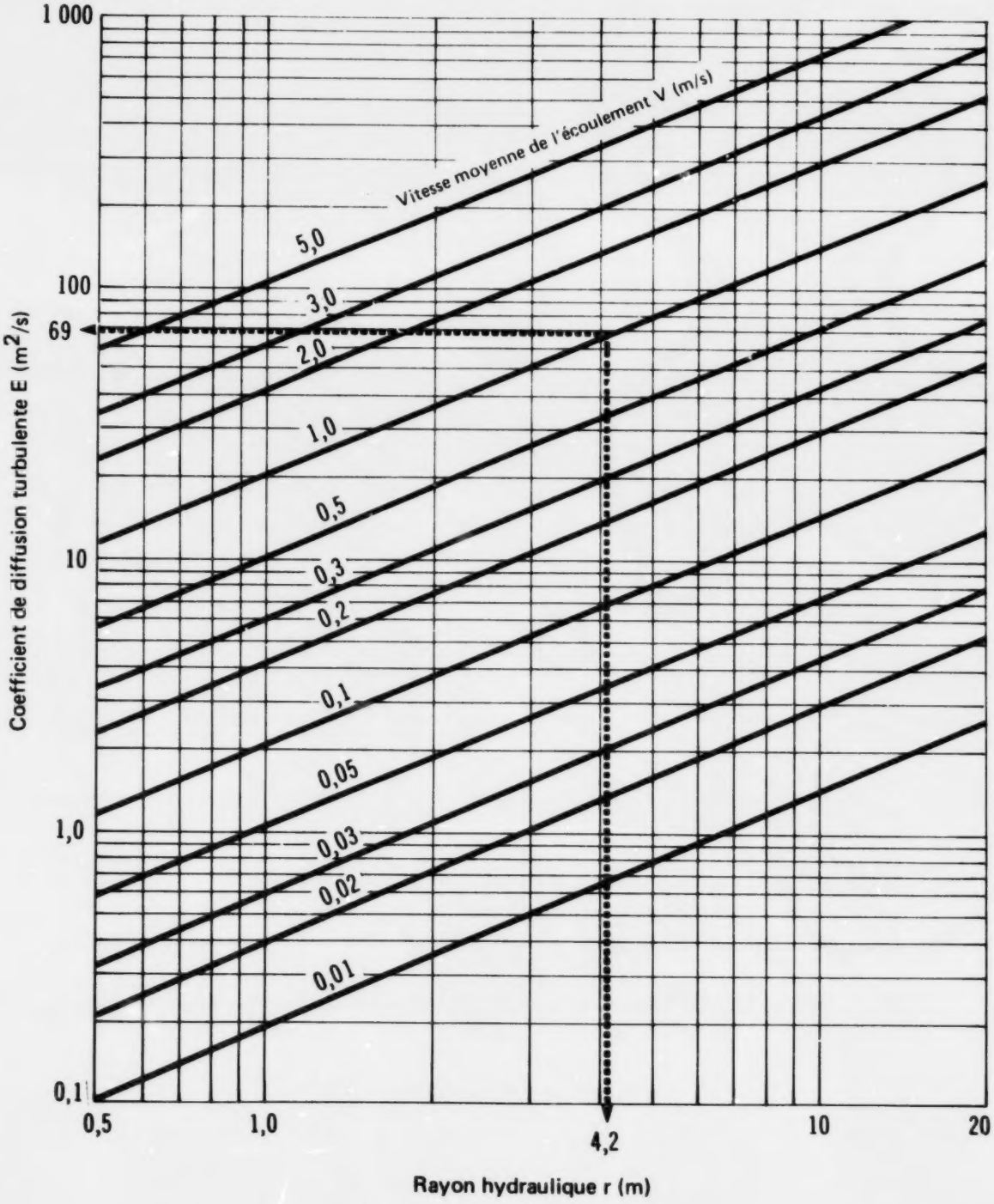


Figure 23

SULFURE D'HYDROGÈNE

ALPHA EN FONCTION DU COEFFICIENT DE DIFFUSION TURBULENTE

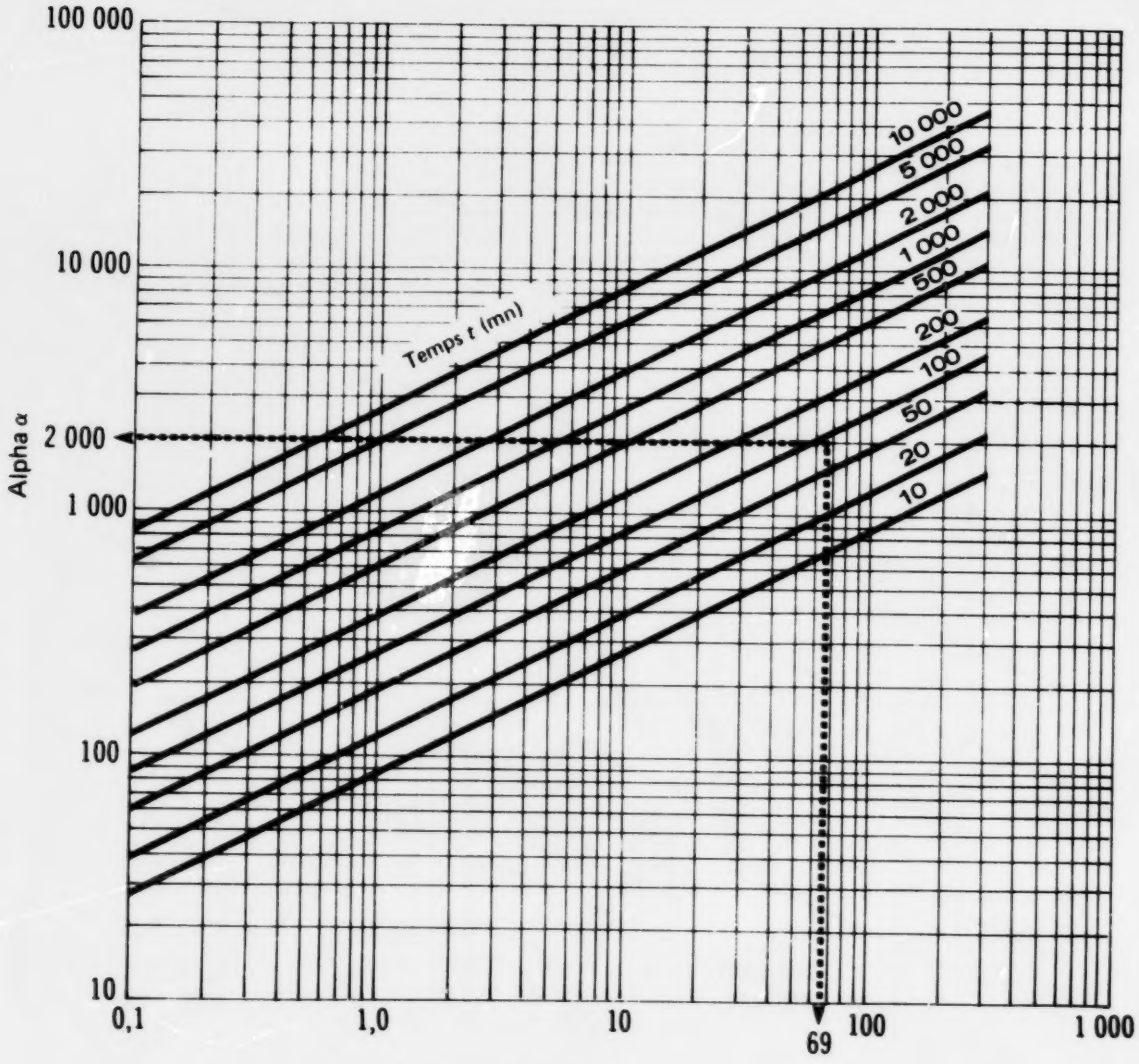


Figure 24

SULFURE D'HYDROGÈNE

DELTA EN FONCTION DE ALPHA

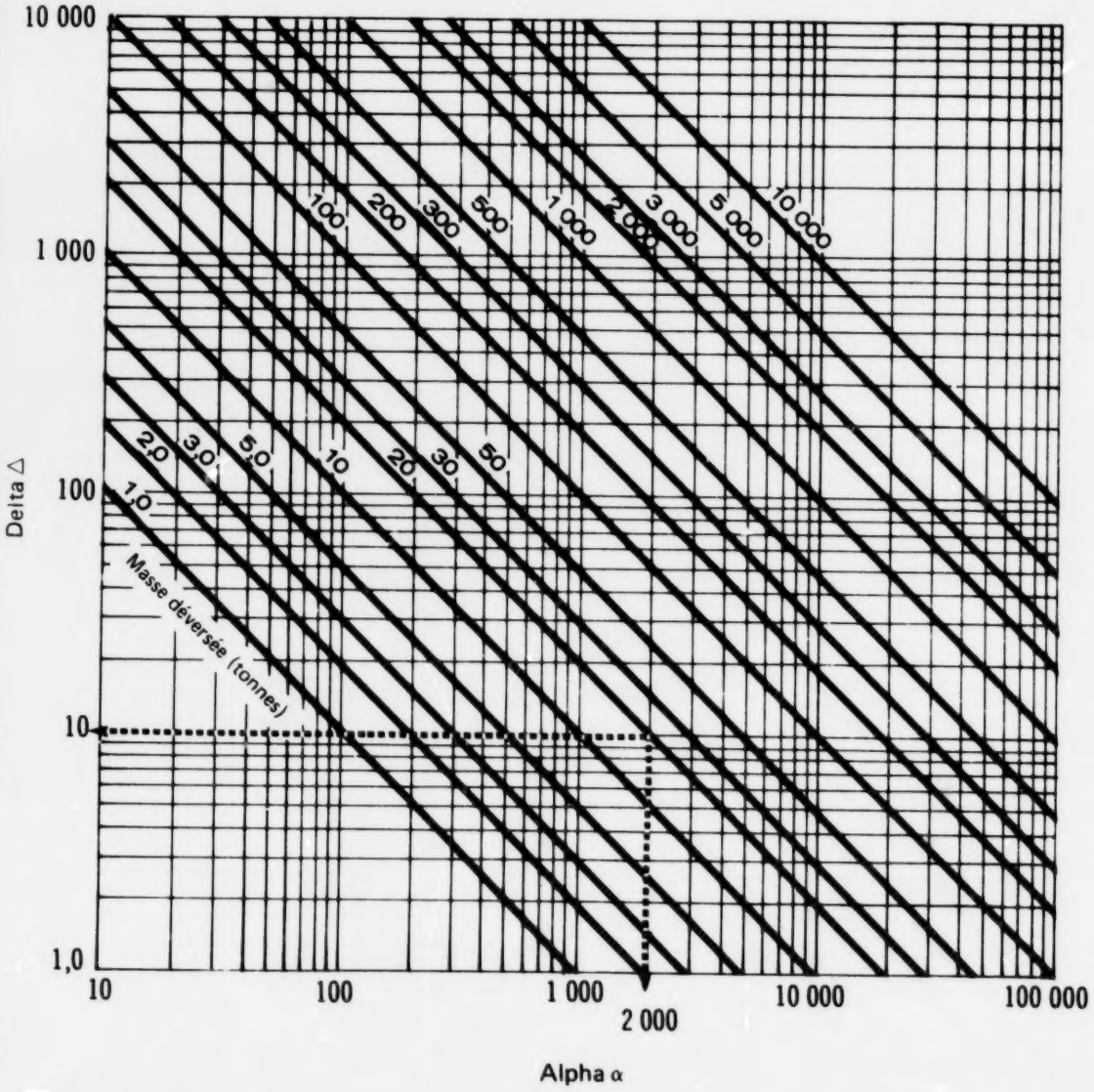


Figure 25

SULFURE D'HYDROGÈNE

TENEUR MAXIMALE EN FONCTION DE DELTA

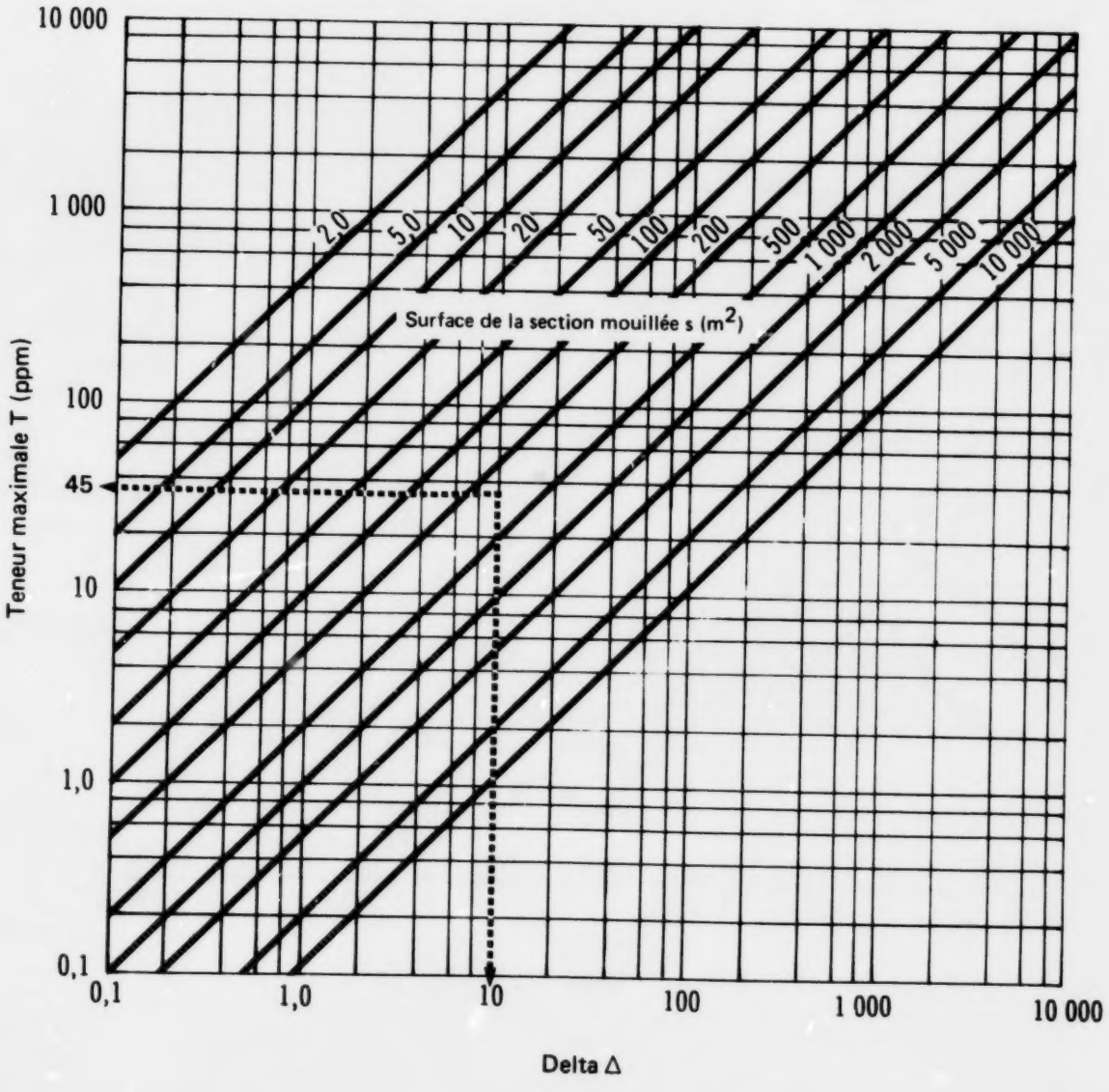


Figure 26

SULFURE D'HYDROGÈNE

VOLUME D'EAU EN FONCTION DU RAYON HYDRAULIQUE

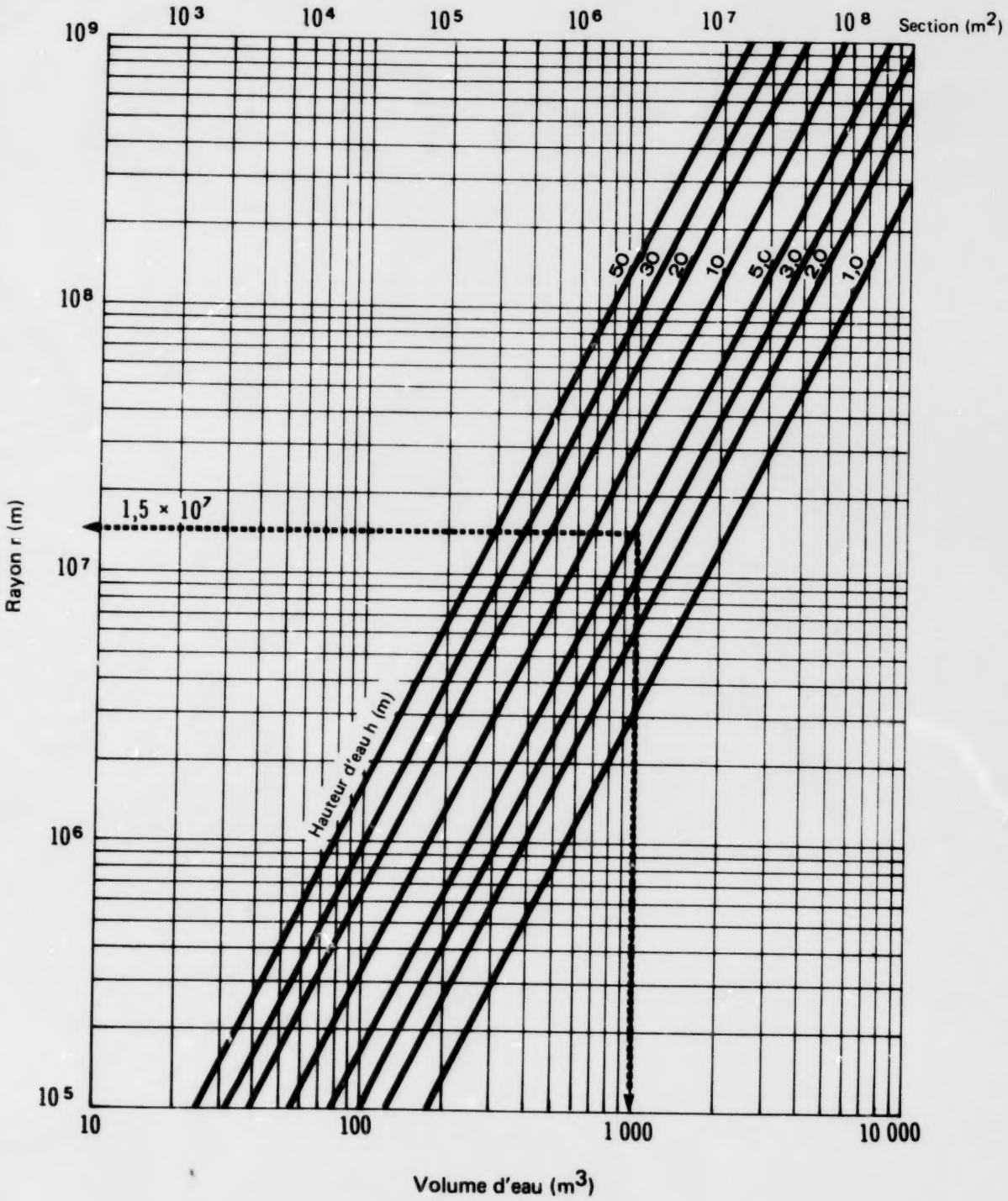


Figure 27

SULFURE D'HYDROGÈNE

TENEUR MOYENNE
EN FONCTION DU VOLUME D'EAU

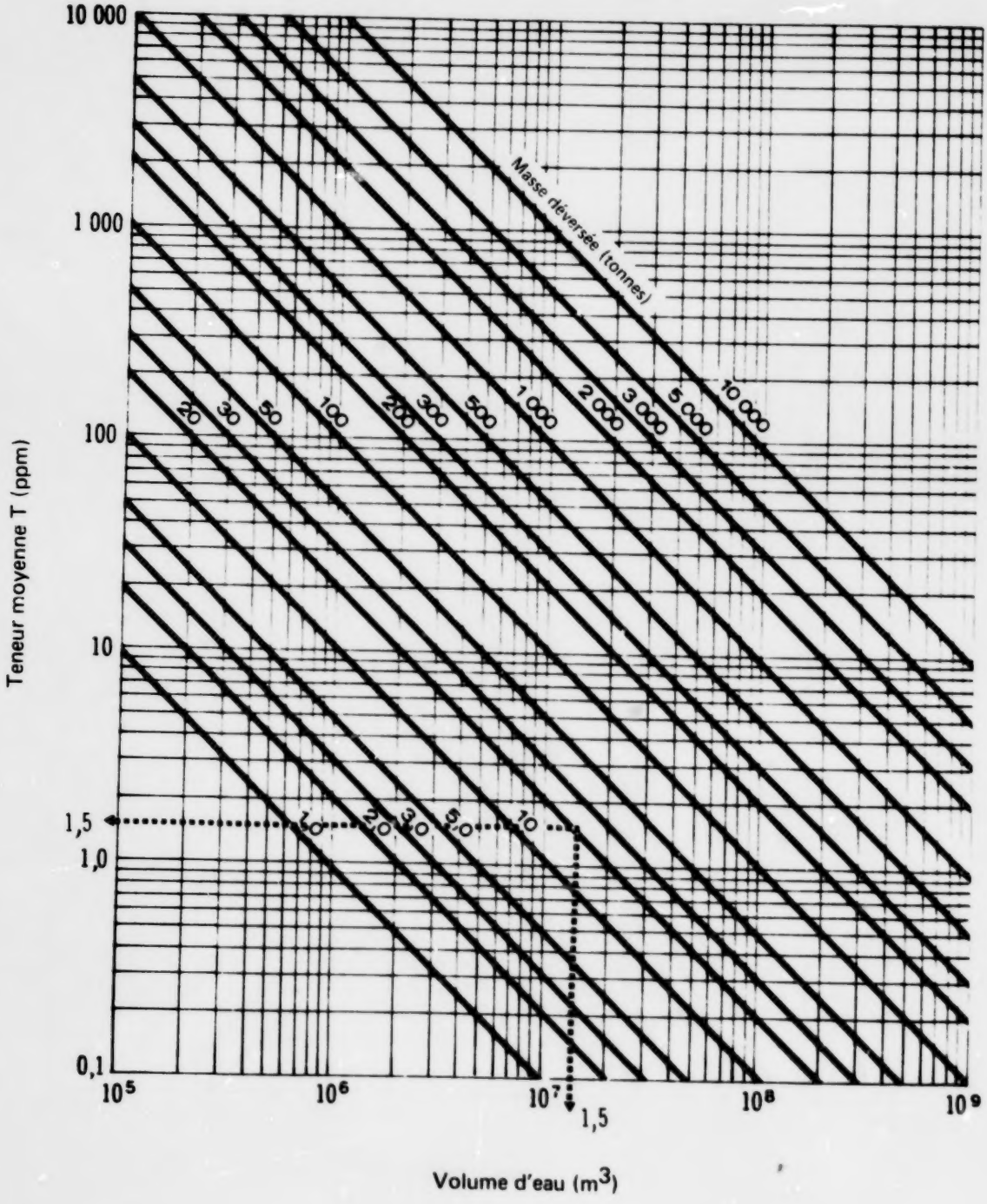


Figure 28

SULFURE D'HYDROGÈNE

ÉTAPES À SUIVRE POUR CALCULER LA TENEUR EN POLLUANT DANS UNE RIVIÈRE NON SOUMISE AUX MARÉES

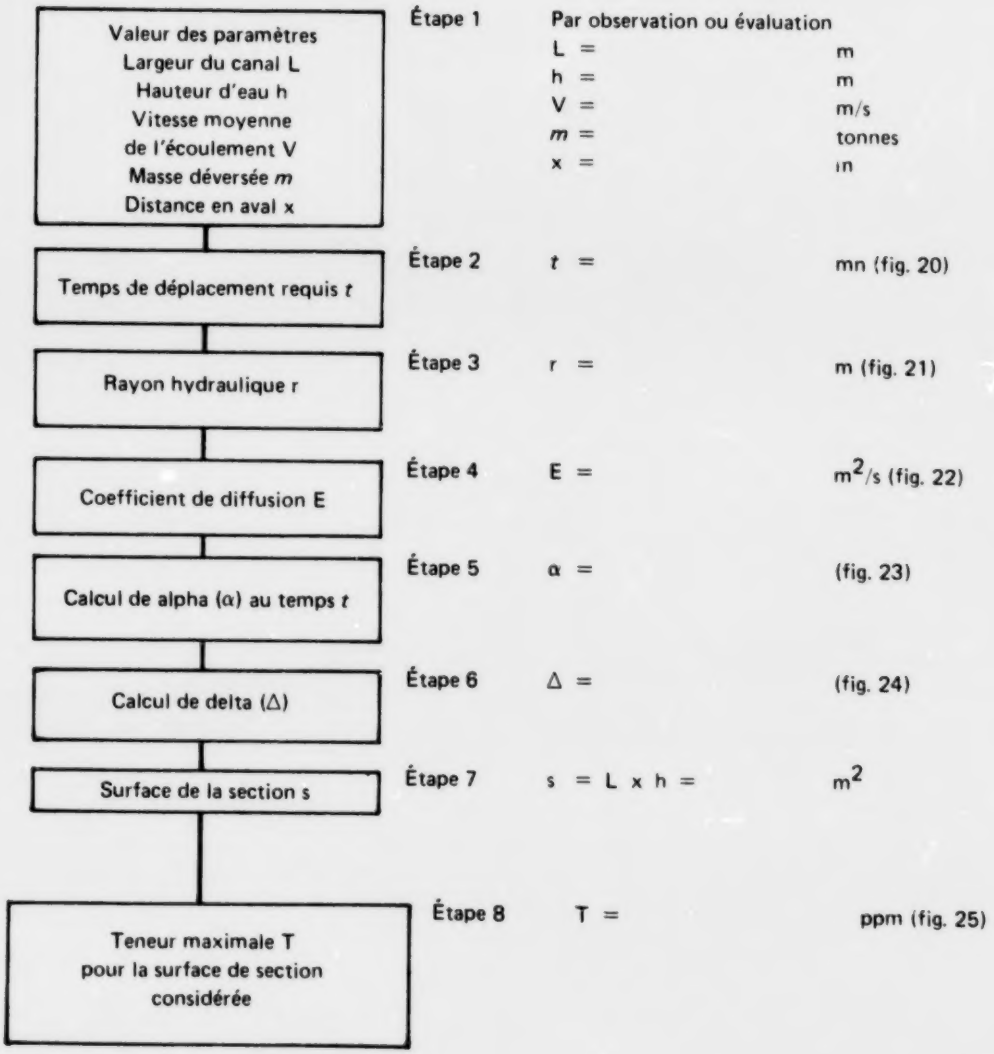
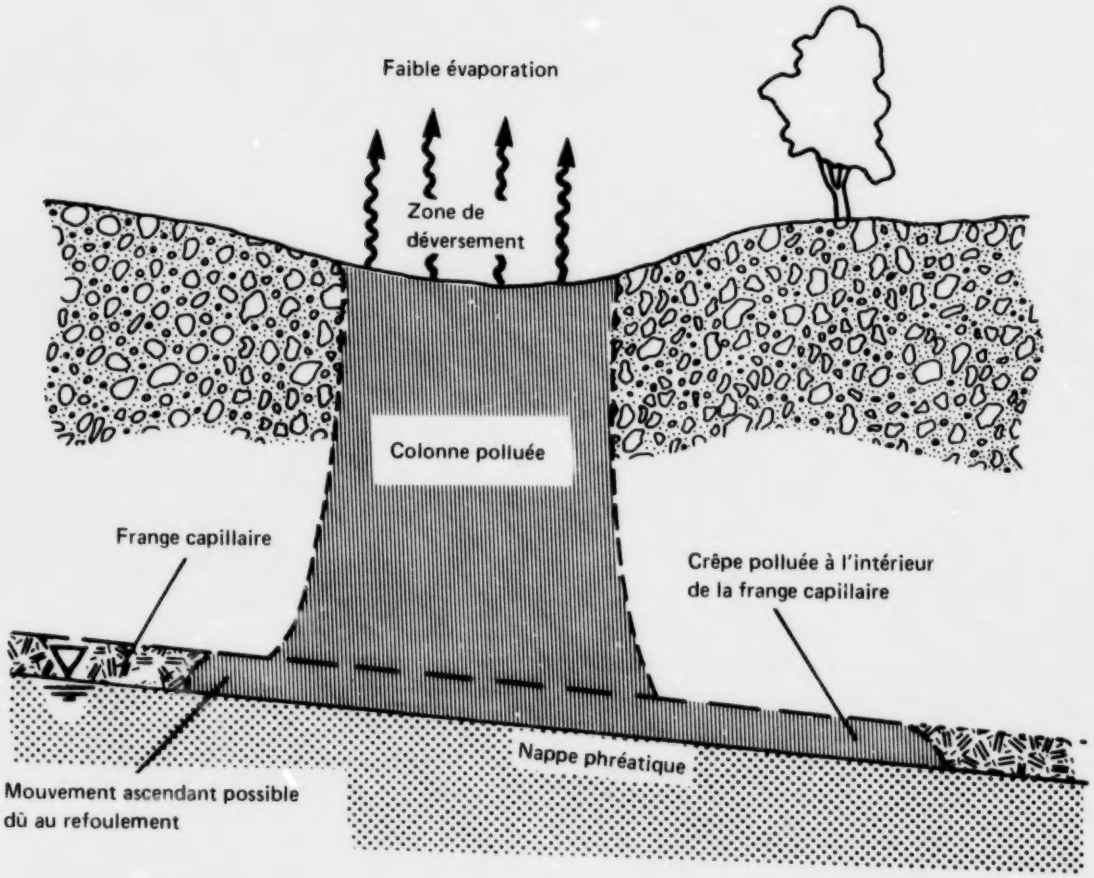


Figure 29

SULFURE D'HYDROGÈNE — MIGRATION DANS LE SOL

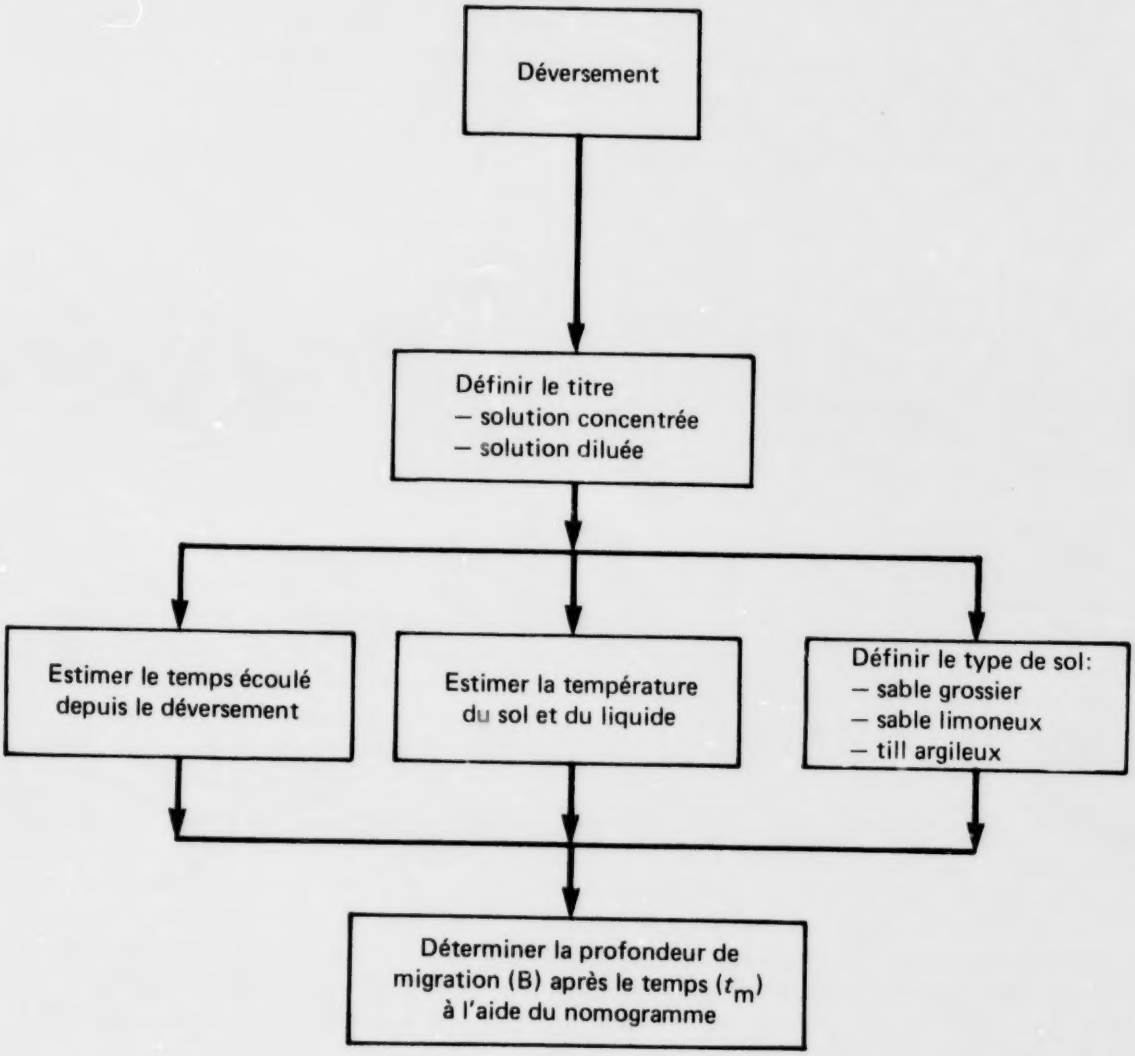


Sol: sable grossier
- porosité (n) = 0,35
- perméabilité intrinsèque (k) = 10^{-9} m^2
- capacité au champ = 0,075

Figure 30

SULFURE D'HYDROGÈNE

PLAN D'UTILISATION DES NOMOGRAMMES



5.4.5 Exemples de calcul

5.4.5.1 Étalement en eau calme. – Vingt tonnes de sulfure d'hydrogène ont été déversées sur un grand lac. Quel est le rayon maximal de la nappe (en supposant qu'il n'y a aucune dissolution) et le temps nécessaire pour l'évaporation complète de la nappe?
Solution: Utiliser la figure 19. Si la masse égale 20 tonnes, le rayon maximal égale 27 m et le temps nécessaire pour l'évaporation complète est légèrement supérieur à 3,4 minutes.

5.4.5.2 Teneur en polluant dans une rivière non soumise aux marées. – Vingt tonnes de sulfure d'hydrogène liquide ont été déversées dans une rivière. La hauteur d'eau (h) est de 5 m et la largeur (L), de 50 m. La vitesse moyenne de l'écoulement est évaluée à 1 m/s.

Quelle est la teneur maximale prévisible en un point situé à 5 km en aval, près d'une prise d'eau?

Étape 1 Déterminer les paramètres.
$L = 50$ m; $h = 5$ m; $V = 1$ m/s; $x = 5000$ m:
$m = 20$ tonnes

Étape 2 Déterminer le temps requis pour atteindre le point qui nous intéresse.
Comme $x = 5000$ m et $V = 1$ m/s, $t = 83$ mn (fig. 20)

Étape 3 Déterminer le rayon hydraulique.
Comme $L = 50$ m et $h = 5$ m, $r = 4{,}2$ m (fig. 21)

Étape 4 Déterminer le coefficient de diffusion turbulente.
Comme $r = 4{,}2$ m et $V = 1$ m/s, $E = 69$ m^2/s (fig. 22)

Étape 5 Déterminer alpha.
Comme $E = 69$ m^2/s et $t = 83$ mn, $\alpha = 2000$ (fig. 23)

Étape 6 Déterminer delta.
Comme $\alpha = 2000$ et $m = 20$ tonnes, $\Delta = 10$ (fig. 24)

Étape 7 Calculer la surface de la section mouillée.
$s = L \times h = 50 \times 5 = 250$ m^2

Étape 8 Déterminer la teneur maximale au point qui nous intéresse.
Comme $\Delta = 10$ et $s = 250$ m^2, $T = 45$ ppm (fig. 25)

5.4.5.3 Teneur en polluant dans les étendues d'eau calme ou les lacs (au repos). – Vingt tonnes de sulfure d'hydrogène liquide ont été déversées dans un lac. Le point qui nous intéresse se trouve le long de la rive, à environ 1000 m du lieu du déversement. Entre ce lieu et le point qui nous intéresse, la hauteur d'eau moyenne est de 5 m. Quelle est la teneur moyenne prévisible en ce point?

Étape 1 Déterminer les paramètres.
$h = 5$ m; $r = 1000$ m; $m = 20$ tonnes

Étape 2 Déterminer le volume d'eau assurant la diffusion.
Comme $r = 1000$ m et $h = 5$ m, vol. $= 1{,}5 \times 10^7$ m^3 environ (fig. 26)

Étape 3 Déterminer la teneur moyenne.
Comme vol. $= 1{,}5 \times 10^7$ m^3 et $m = 20$ tonnes, $T = 1{,}5$ ppm ou 1,5 mg/l (fig. 27)

5.5 Comportement dans la subsurface

5.5.1 Mécanismes. – Les principes du transport des polluants dans le sol et leur application au sulfure d'hydrogène sont présentés dans le Manuel d'introduction Enviroguide. Certains aspects du déversement de sulfure d'hydrogène sur le sol et de sa migration dans le sol sont présentés ci-après.

À la pression d'une atmosphère, le point d'ébullition du sulfure d'hydrogène est de -60,7 °C. C'est donc un liquide très volatil qui bout vigoureusement et s'évapore rapidement lorsqu'il est déversé sur le sol. Ce bouillonnement peut être accompagné de la formation de globules. Le sulfure d'hydrogène étant très soluble dans l'eau sa migration dans le sol sera facilitée par la présence d'eau dans le sol ou par des précipitations atmosphériques survenant au moment du déversement. Si le sol est saturé d'eau par suite de précipitations abondantes, la migration du liquide dans le sol ne se fera probablement pas. Le liquide déversé entrera alors en ébullition et suivra la déclivité du terrain tandis qu'une certaine portion se dissoudra dans l'eau. La migration du sulfure d'hydrogène jusqu'au niveau hydrostatique dépend de la circulation de l'eau à travers les interstices du sol dans la zone non saturée. Cette zone s'étend du niveau hydrostatique jusqu'à la surface du sol.

Pour préparer les nomogrammes, on a choisi trois types de sol contenant une quantité d'eau égale à leur capacité au champ où il n'existe que très peu d'eau interstitielle dans la zone non saturée. Dans cette situation, il n'y aura qu'une faible dissolution du liquide déversé et son mouvement descendant sera peu freiné; ce qui correspond à un «pire cas». De plus, il est supposé qu'une portion importante du liquide déversé a été dissoute dans l'eau provenant des précipitations atmosphériques, de la lutte contre les incendies ou dans l'eau utilisée pour rabattre les vapeurs. Dans le présent guide, on considère que le liquide au cours de son mouvement descendant est une solution d'eau et de sulfure d'hydrogène et que celui-ci ne modifie pas de façon notable la viscosité et la densité relative de l'eau. Par conséquent, les valeurs qui seront données à ces propriétés seront les mêmes que celles de l'eau pure. Le sulfure d'hydrogène en solution aqueuse peut réagir chimiquement avec des éléments du sol comme les carbonates (les calcaires). Comme le sulfure d'hydrogène en solution aqueuse se comporte comme un acide faible, il réagit avec la solution légèrement basique résultant de l'hydrolyse des ions carbonate. Bien qu'une proportion assez importante du produit de ces réactions puisse atteindre la nappe phréatique, nous n'avons pris en considération pour ne pas compliquer le problème, les facteurs intervenant dans les réactions chimiques.

Lorsque la solution de sulfure d'hydrogène pénètre dans la nappe phréatique, elle prend la direction de l'écoulement des eaux souterraines. Il se forme alors une poche de pollution qui s'étend dans la couche aquifère selon la dynamique du système. Le polluant qui pénètre dans la nappe phréatique ne subit pas une dilution dans toute la couche aquifère. Les phénomènes de diffusion et de dispersion de la poche de polluant sont assez bien connus; nous ne traiterons donc pas de ce sujet ici. Le lecteur trouvera plutôt à la figure 29 un schéma simplifié de la migration du polluant dans le sol.

5.5.2 Migration du polluant dans la zone non saturée. – Les équations et les postulats utilisés pour déterminer la migration du polluant dans la zone non saturée, jusqu'à la nappe phréatique, sont présentés dans le Manuel d'introduction Enviroguide. Les vitesses de migration sont établies à partir de la loi de Darcy, en posant comme hypothèse la formation d'une colonne par suite d'un écoulement piston en milieu saturé.

5.5.3 Migration du polluant dans la zone saturée. – Le coefficient de perméabilité, qui correspond au coefficient K de la loi de Darcy, est un paramètre mesurant la perméabilité d'un milieu continu. K, en m/s, est donné par la formule suivante:

$$K = \frac{(\rho g)k}{\mu}$$

où: k = perméabilité intrinsèque du sol (m^2)
ρ = masse volumique du fluide (kg/m^3)
μ = viscosité absolue du fluide ($Pa \cdot s$)
g = accélération de la pesanteur = 9,81 m/s^2

Les fluides en question sont le sulfure d'hydrogène et l'eau

Caractéristiques	Sulfure d'hydrogène 20 °C	Eau 20 °C
Masse volumique (ρ) kg/m^3	774	1000
Viscosité absolue (μ) $Pa \cdot s$		$1,0 \times 10^{-3}$
Coefficient de perméabilité en sol saturé (K), m/s		$(0,98 \times 10^{7})k$

5.5.4 Types de sol. – Le Manuel d'introduction Enviroguide décrit les trois types de sol retenus pour les besoins de la présente section. Le tableau ci-dessous indique les propriétés qui nous intéressent.

Propriété	Types de sol Sable grossier	Sable limoneux	Till argileux
Porosité (m^3/m^3)	0,35	0,45	0,55
Perméabilité intrinsèque (m^2)	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}
Capacité au champ (m^3/m^3)	0,075	0,3	0,45

5.5.5 Nomogrammes de migration. – Un nomogramme de migration de solutions de sulfure d'hydrogène dans la zone non saturée (au-dessus de la surface de saturation) a été préparé pour chacun des trois types de sol choisis. La profondeur atteinte par le polluant est donnée en fonction du temps de migration. Vu les méthodes utilisées et les hypothèses posées, la profondeur atteinte par le polluant doit être considérée comme maximale pour le temps donné. La figure 30 indique la marche à suivre dans l'utilisation des nomogrammes (fig. 31, 32, 33). La droite représente la profondeur atteinte par l'eau et correspond à la profondeur maximale d'infiltration de l'eau à une température de 20 °C, pour un temps donné. Elle correspond donc à la profondeur maximale de migration du polluant dilué dans l'eau.

Figure 31

SULFURE D'HYDROGÈNE

MIGRATION DANS DU SABLE GROSSIER

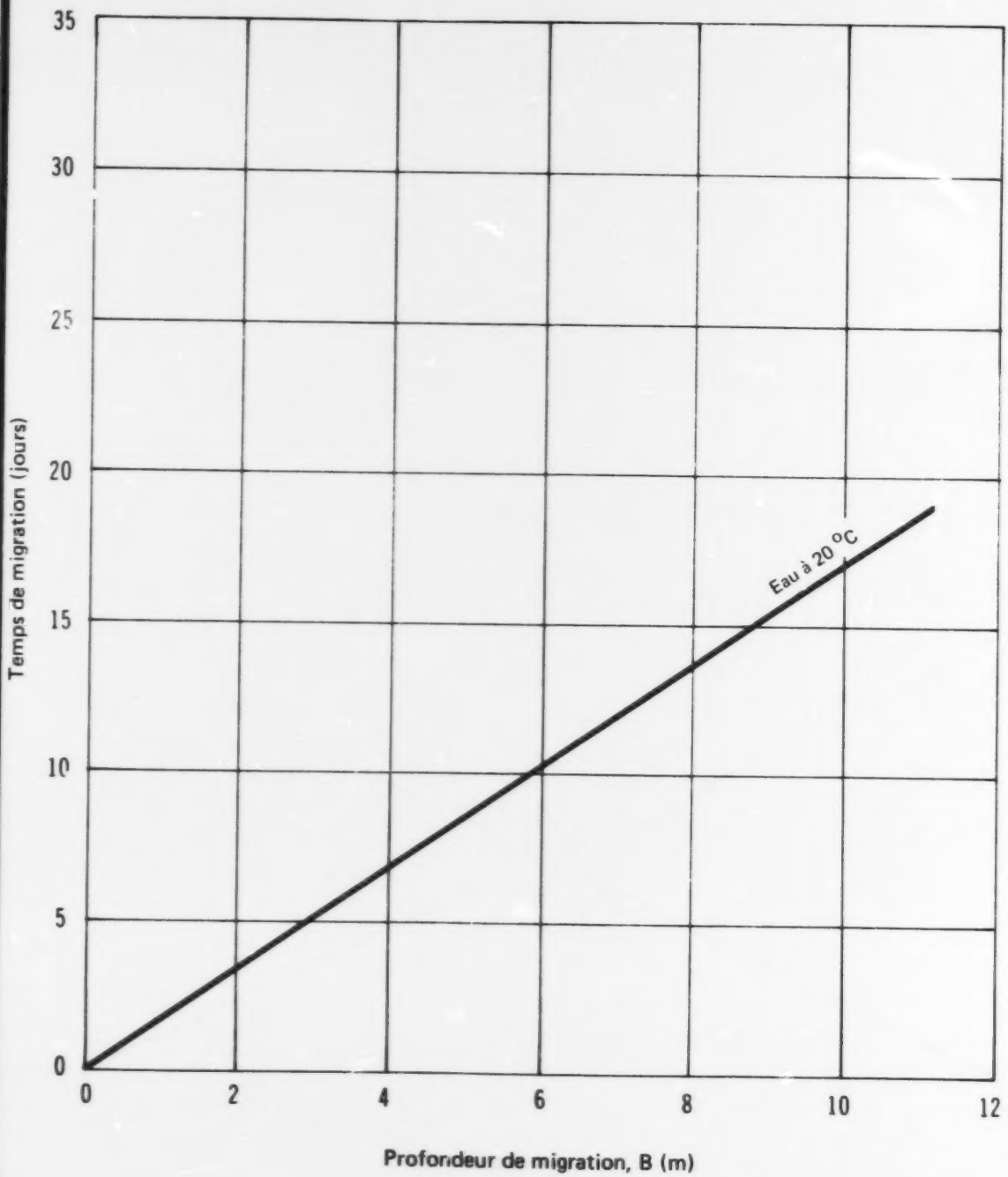


Figure 32

SULFURE D'HYDROGÈNE

MIGRATION DANS DU SABLE LIMONEUX

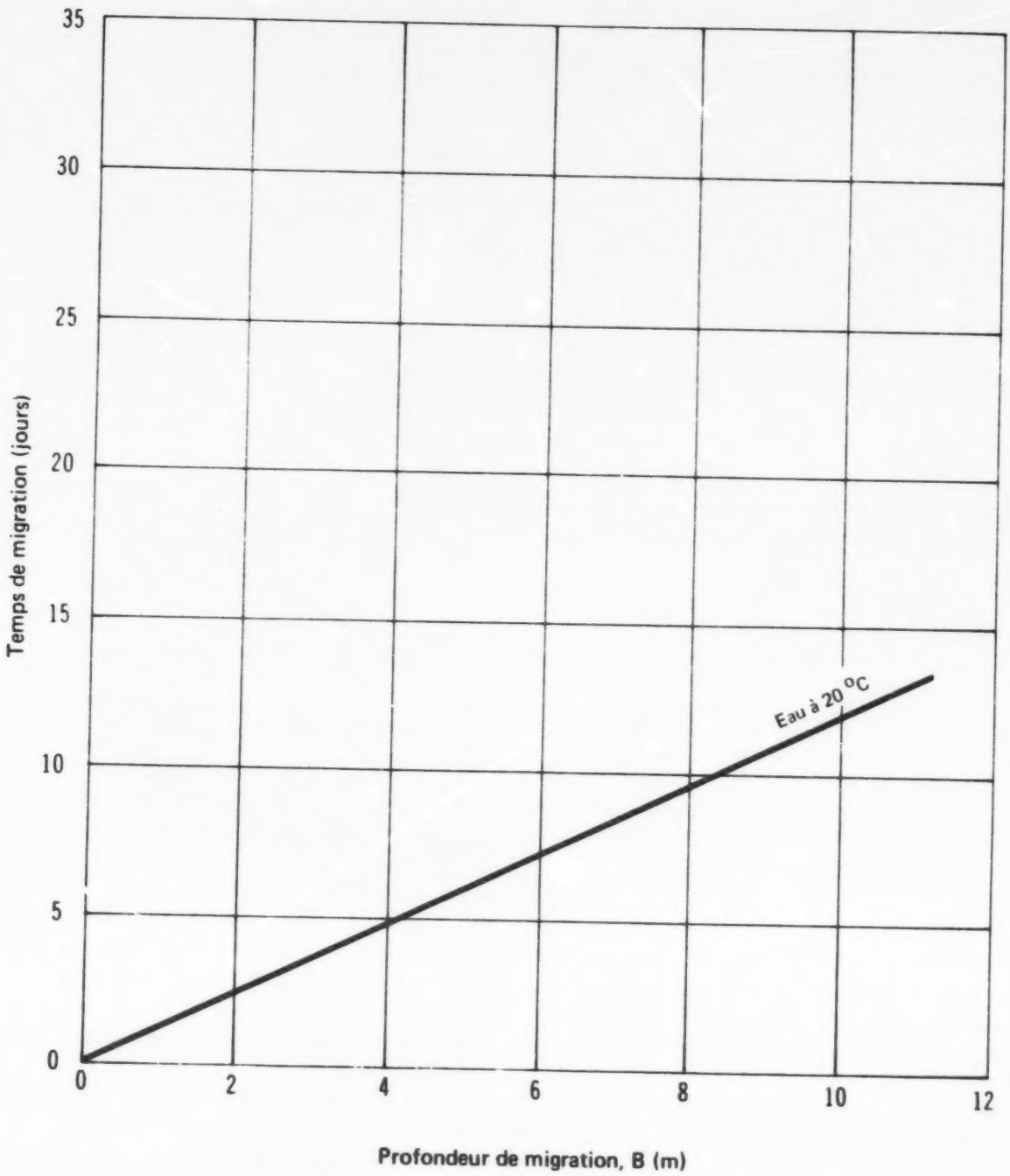
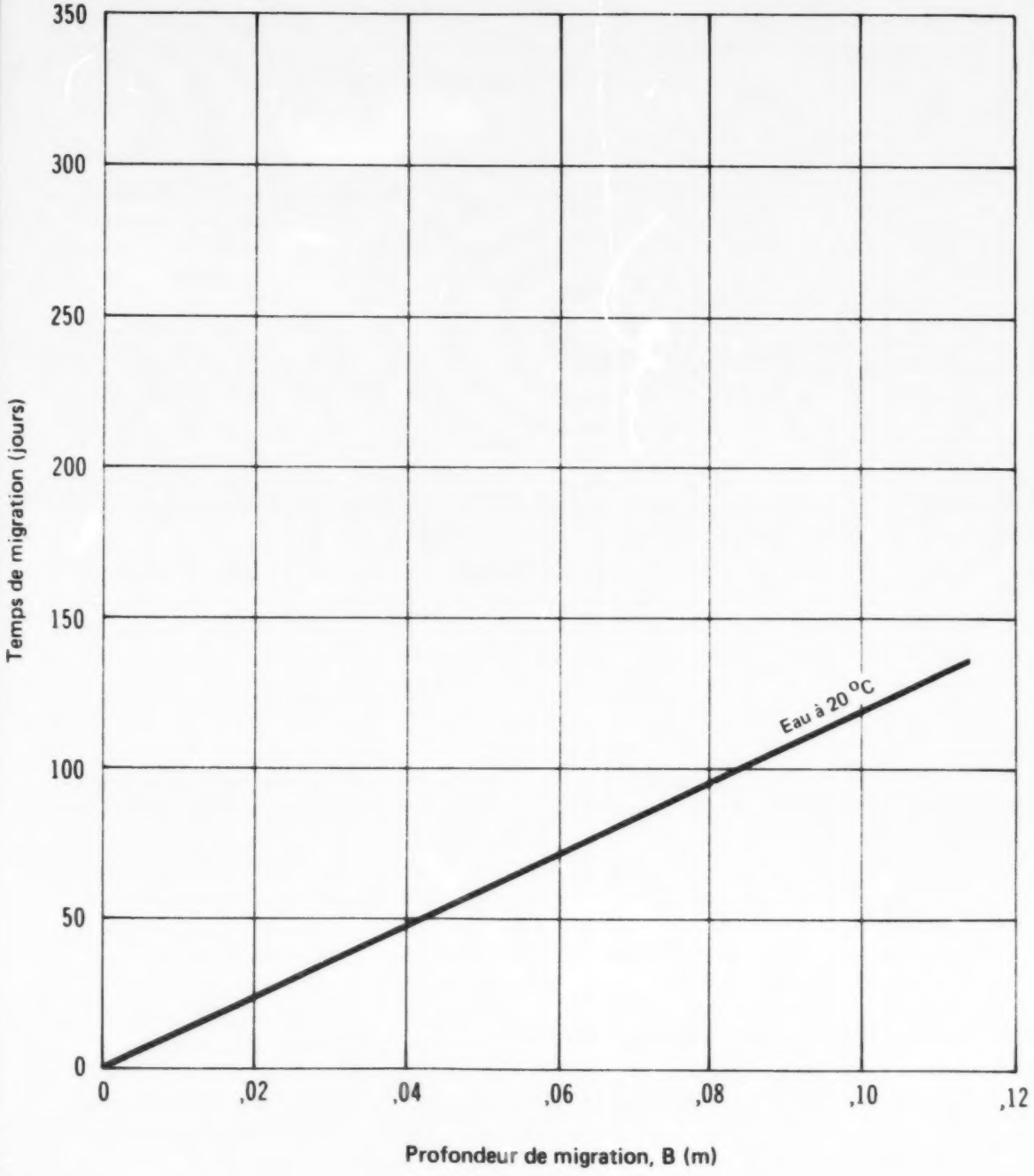


Figure 33

SULFURE D'HYDROGÈNE — MIGRATION DANS UN TILL ARGILEUX



5.5.6 Exemple de calcul. – Vingt tonnes de sulfure d'hydrogène ont été déversées sur un sol constitué de sable grossier. Le rayon de la surface polluée est de 8,6 m. La température s'élève à 20 °C. Calculer la profondeur atteinte par le polluant, 15 minutes après le déversement.

Étape 1 Déterminer la valeur des paramètres.

Masse de liquide déversé = 20 000 kg

Température = 20 °C

Rayon = 8,6 m

Type de sol = sable grossier

Profondeur de la surface de saturation = 13 m

Temps écoulé depuis le moment du déversement = 15 mm

Étape 2 Calculer la surface de sol pollué.

Surface = πr^2 = 232 m^2

Étape 3 Évaluer la profondeur atteinte par le polluant après 15 mn.

Dans le cas du sable grossier, après 15 mn, la profondeur est de 8,8 m

6 PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

6.1 Limites maximales admissibles

6.1.1 Qualité de l'eau

6.1.1.1 Situation au Canada. – En ce qui concerne l'eau potable, le Canada fixe une teneur limite en sulfures de 0,05 mg/l (Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada, 1978).

6.1.2 Qualité de l'air. – En vertu du Clean Environment Act de 1973 le Nouveau-Brunswick a établi une teneur maximale admissible au niveau du sol de 15 $\mu g/m^3$. L'Ontario Environmental Protection Act de 1971 fixe une norme de qualité de 30 $\mu g/m^3$. Quant à l'Alberta il a fixé la teneur admissible en sulfure d'hydrogène de l'air au cours d'une longue période à 4 $\mu g/m^3$ (Kirk-Othmer, 1983).

6.2 Toxicité pour les espèces aquatiques

6.2.1 Évaluation de la toxicité. – Il est généralement admis que le sulfure d'hydrogène dans les dépôts des puits de pétrole et de gaz naturel pénètre dans les eaux souterraines. Il peut aussi se former dans les lacs dans des conditions anaérobies. Il a été démontré que la toxicité des solutions de sulfure d'hydrogène augmente à mesure que le pH des solutions diminue. Le sulfure d'hydrogène dissous dans l'eau se comporte comme un acide faible comme le montrent les réactions suivantes:

$$H_2S \rightleftharpoons HS^- + H^+$$
$$HS^- \rightleftharpoons S^{2-} + H^+$$

Lorsque le pH d'une solution de sulfure d'hydrogène diminue, l'équilibre de chaque équation tend à se déplacer vers la gauche. Autrement dit, la teneur en sulfure d'hydrogène non dissocié augmenterait; ce qui nous permet de supposer que la toxicité serait principalement attribuable au sulfure d'hydrogène moléculaire. Par exemple, on a constaté que dans l'eau contenant 3,2 ppm de sulfure de sodium (Na_2S), des truites se sont renversées après avoir été exposées deux heures à un pH de 9,0, 10 minutes à un pH de 7,8 et 4 minutes à un pH de 6,0. On a également signalé que la teneur maximale de protection possible des oeufs de *Esox Lucius* se situe entre 0,014 et 0,018 ppm et entre 0,004 et 0,006 ppm pour des alevins de *Esox Lucius* lors d'une exposition de 96 heures (NRCC, 1977).

Aucune cote de toxicité aquatique n'a été établie par les États-Unis (RTECS, 1979). D'autres sources présentent une teneur seuil de 0,5 ppm pour les poissons d'eau douce et d'eau salée et une teneur limite pour une exposition de longue durée en milieu aquatique de 0,3 ppm (OHM-TADS, 1981; DPIMR, 1981).

6.2.2 Mesures de la toxicité

6.2.2.1 Toxicité en eau douce

Données sur la toxicité

Teneur (mg/l ou ppm)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Caractéristique de l'eau	Source
A. – Poissons					
100 mg/l	3	Tanche	Toxique	Eau du robinet	Verschueren, 1977
0,797	48	Barbote brune	Létal	Lac	Bonn, 1967
0,86	24	Truite	Toxique		WQC, 1963
5 à 6	24	Ménés	Toxique		WQC, 1963
1	Non connue	Saumon chinook	Toxique		WQC, 1963
3,3	24	Carpe	Toxique		WQC, 1963
4,9 à 5,3	1	Doré jaune	Toxique		WQC, 1963
10	96	Poisson doré	Toxique	Dure	WQC, 1963
4,3	24	Poisson doré	Toxique		WQC, 1963
0,007	96	Omble de fontaine	Tolérance moyenne		Spehar, 1981
0,032	96	Crapet arlequin	Tolérance moyenne		WQC, 1972
0,017	96	Jeunes dorés jaunes	Tolérance moyenne		WQC, 1972
0,032	96	Oeufs de grand brochet	Tolérance moyenne	Écoulement continu d'O_2, 2 ppm	Becker, 1973
0,009	96	Alevins de brochet	Tolérance moyenne	Écoulement continu d'O_2, 2 ppm	Becker, 1973
1,000	0,75 à 1	Poisson doré	Temps de survie	Dure	Wilber, 1969
100	3 à 4	Poisson doré	Temps de survie	Dure	Wilber, 1969
0,007	96	Alevins de doré jaune	Teneur létale 50	15 °C, 6 ppm d'O_2	Smith, 1972
1,38	48	Tête-de-boule	Tolérance moyenne		WQC, 1963
0,037 ppm	96	Oeufs de grand brochet	Teneur létale 50	H_2S	NRCC, 1977
0,014 ppm	Non connue	Oeufs de grand brochet	Teneur de protection	H_2S	NRCC, 1977
0,026 ppm	96	Alevins de brochet	Teneur létale 50	H_2S	NRCC, 1977
0,004 ppm	Non connue	Alevins de brochet	Teneur de protection	H_2S	NRCC, 1977
0,071 ppm	96	Oeufs de doré jaune	Teneur létale 50	H_2S	NRCC, 1977
0,012 ppm	Non connue	Oeufs de doré jaune	Teneur de protection	H_2S	NRCC, 1977
0,007 ppm	96	Alevins de doré jaune	Teneur létale 50	H_2S	NRCC, 1977
0,017 ppm	96	Jeunes dorés jaunes	Teneur létale 50	H_2S	NRCC, 1977
0,0037 ppm	Non connue	Jeunes dorés jaunes	Teneur de protection	H_2S	NRCC, 1977
0,015 ppm	Non connue	Oeufs de cyprin-sucet	Teneur de protection	H_2S	NRCC, 1977
0,0018 ppm	96	Alevins de cyprin-sucet	Teneur létale 50	H_2S	NRCC, 1977
0,0185 ppm	96	Jeunes cyprins-sucets	Teneur létale 50	H_2S	NRCC, 1977

0,002 ppm	Non connue	Jeunes cyprins-sucets	Teneur de protection	H_2S	NRCC, 1977
0,032 ppm	96	Jeunes tête-de-boule	Teneur létale 50	H_2S, 20 °C	NRCC, 1977
0,003 ppm	Non connue	Jeunes tête-de-boule	Teneur de protection	H_2S	NRCC, 1977
0,032 ppm	96	Jeunes crapets-arlequins	Teneur létale 50	H_2S	NRCC, 1977
0,002 ppm	Non connue	Jeunes crapets-arlequins	Teneur de protection	H_2S	NRCC, 1977
0,032 ppm	96	Crapets-arlequins adultes	Teneur létale 50	H_2S	NRCC, 1977
0,002 ppm	Non connue	Crapets-arlequins adultes	Teneur de protection	H_2S	NRCC, 1977
0,042 ppm	10 jours	*Grammarus pseudolomnacus*	Teneur létale 50	H_2S	NRCC, 1977
0,350 ppm	96	*Heragenia limbata*	Teneur létale 50	H_2S	NRCC, 1977
B. – Micro-organismes					
1 mg/l	Non connue	*Daphnia*	Létal		WQC, 1963
10 ppm	Non connue	*Daphnia*	Teneur létale minimale	Na_2S dissous	NRCC, 1977
C. – Invertébrés					
0,84 mg/l	96	Crevettine	Tolérance moyenne		Verschueren, 1977
0,316	96	Éphéméroptère	Tolérance moyenne		Verschueren, 1977
0,02 à 0,3	96	Éphéméroptère	Teneur létale 50	Test biologique en écoulement continu	Oseid, 1974
0,111	96	Pou du porc	Teneur létale 50	Test biologique en écoulement continu	Oseid, 1974
1,07	96	Amphipode	Teneur létale 50	Test biologique en écoulement continu	Oseid, 1974

6.2.2.2 Toxicité en eau salée

Données sur la toxicité

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Résultat	Caractéristique de l'eau	Source
A. – Poissons					
0,05 à 1 (sulfures inorganiques)	Non connue	Truite	Mortelle	Solutions neutres et alcalines	WQC, 1972
1	Non connue	Truite anadrome	Toxique		WQC, 1972
1	72	Saumon du Pacifique	Mort		WQC, 1972
3	Non connue	Saumon du Pacifique	Ont survécu, aucune lésion		WQC, 1972
3	Non connue	Truite anadrome	Ont survécu, aucune lésion		WQC, 1972

B. – Invertébrés					
Non connue	Non connue	Huîtres et autres organismes benthiques	Létal	H_2S libéré des sédiments	WQC, 1972
Saturé	0,5	*Bulla*	Létal	Bouillonnement de H_2S	OHM-TADS, 1981

6.3 Toxicité pour d'autres organismes

6.3.1 Toxicité pour le bétail

Teneur (mg/l)	Durée	Espèce	Voie d'absorption	Résultat	Source
800	5 mn	Mammifères	Inhalation	Teneur létale minimale	RTECS, 1979

6.3.2 Toxicité pour les insectes

Teneur (mg/m^3)	Durée	Espèce	Voie d'absorption	Résultat	Source
380	16 h	Mouches	Inhalation	Teneur létale 50	Verschueren, 1977
1500	7 mn	Mouches	Inhalation	Teneur létale 50	Verschueren, 1977

6.3.3 Toxicité pour les végétaux. – Les teneurs en sulfure d'hydrogène que l'on trouve généralement en milieu urbain et industriel ne présentent aucun risque pour les végétaux supérieurs. En ce qui concerne les végétaux inférieurs la situation n'est pas aussi évidente. Une étude des données a révélé que dans certaines conditions, le sulfure d'hydrogène à l'état gazeux peut constituer la seule source de soufre pour la nutrition de diverses espèces agricoles.

Le sulfure d'hydrogène gazeux provenant de sources naturelles est présent dans l'atmosphère à des teneurs de 3 à 30 $\mu g/m^3$. Cet équilibre naturel est rompu par l'homme lorsque surviennent un déversement ou une éruption de puits de gaz. Le sulfure d'hydrogène se distingue des autres polluants parce qu'il s'attaque aux extrémités des jeunes pousses. Les symptômes des dommages causés aux plantes à la suite d'une exposition de longue durée, de même que les effets sur la croissance ne sont pas encore bien connus (NRCC, 1977). Une source de référence cite un cas où une plante peut subir des dommages à des teneurs supérieures à 5 ppm (7 $\mu g/m^3$) présentes dans l'air pendant une période de plus de 24 heures (Sax, 1981). Certaines des données obtenues sont résumées dans le tableau ci-après:

Teneur	Espèce	Résultat	Source
> 0,3 ppm	Haricots	Toxique	Bennett, 1980
1,38	Trèfle	Toxique	Krause, 1979
2,5	Épinard et petits pois	Nécrose des feuilles	Steubing, 1979
30 ppb	Laitue; feuilles de betterave à sucre	Croissance accrue	Thompson, 1979
< 60	Sarrasin, trèfle, radis et soya	Sensible; symptômes d'effets délétères	NRCC, 1977
> 600	Pommes, cerises, herbe et fraises	Résiste	NRCC, 1977

6.4 Études des effets

Il a été démontré que la toxicité du sulfure d'hydrogène est attribuable surtout à la molécule de H_2S plutôt qu'à l'ion HS^- ou S^{2-}. En solution aqueuse, le sulfure d'hydrogène est un acide très faible. En effet, à une teneur de 0,1 *M* (3,408 g/l) le pH de la solution est de 4,1, ce qui correspond à une solution à 99,9 p. 100 de sulfure d'hydrogène non dissocié (la constante de dissociation (K) est 10^{-7} pour une solution à 0,1 *M* à la pression de une atmosphère). Si on augmente le pH de la solution, la dissociation du H_2S en HS^- augmente également. Comme la toxicité du sulfure d'hydrogène dans l'eau est fonction du pH, il semble normal que les résultats des essais de toxicité soient variés (WQC, 1972; Cotton, 1972). Par exemple, à un pH de 5 la solution aqueuse est composée de H_2S à 99 p. 100 tandis qu'à un pH de 7 et 9 on trouve l'ion HS^- à 50 p. 100 et 90 p. 100 respectivement (NRCC, 1977).

6.5 Dégradation

6.5.1 Dégradation chimique. – Le sulfure d'hydrogène dans l'eau acide ou basique s'évapore en grande partie, alors qu'une autre partie, après un long séjour dans l'eau, peut se transformer en soufre élémentaire ou encore, au contact de métaux lourds en solution, il peut former des sels insolubles (OHM-TADS, 1981).

6.5.2 Dégradation biochimique. – La digestion des boues est inhibée à des teneurs en sulfure d'hydrogène situées entre 70 et 200 mg/l (Sax, 1979).

6.6 Devenir et effets à long terme

6.6.1 Bioaccumulation potentielle. – Le sulfure d'hydrogène ne s'accumule pas dans les organismes vivants et n'est pas susceptible de contaminer la chaîne alimentaire (OHM-TADS, 1981).

6.6.2 Études. – Les calculs basés sur des estimations des cycles des composés soufrés sur le plan global ont permis de situer le temps de séjour du sulfure d'hydrogène dans la troposphère entre 1,4 et 1,7 jour (NRCC, 1977).

7 PROTECTION DE LA SANTÉ

Les effets toxiques de l'exposition au sulfure d'hydrogène des animaux de laboratoire et des êtres humains sont abondamment rapportés dans la documentation. Un produit est toxique lorsqu'il est capable de causer des lésions ou de perturber le métabolisme des tissus vivants. La toxicité est dite aiguë lorsque les lésions apparaissent après une exposition unique et de courte durée. Le sulfure d'hydrogène constitue un poison vif qui agit comme un inhibiteur enzymatique (NRC, 1981; Meyer, 1977). À des teneurs de 500 à 1000 ppm son effet est celui d'un poison systémique pouvant entraîner des évanouissements et la mort à la suite d'une paralysie des fonctions respiratoires. À des teneurs inférieures à 500 ppm il irrite l'oeil et l'appareil respiratoire. Il se peut que l'action irritante soit due à la réaction du sulfure d'hydrogène avec les alcalis présents dans la plupart des tissus superficiels. Cette réaction donne des sulfures de métaux alcalino-terreux qui seraient corrosifs pour ces tissus (Sax, 1979).

Le sulfure d'hydrogène figure dans l'inventaire dressé par l'Environment Protection Agency des États-Unis. Les travaux publiés sur la toxicité du sulfure d'hydrogène ont fait l'objet d'un examen en 1977 (DHEW NIOSH 77-158).

Les données toxicologiques sont extraites de sources dignes de confiance. Il est à noter que certaines données valent pour des expositions de longue durée à de faibles teneurs, de sorte qu'elles ne s'appliquent pas nécessairement dans les cas de déversements. Lorsque jugé nécessaire, l'interprétation des données relatives à l'homme est étayée par les données sur l'exposition de courte durée recueillies pour des espèces mammifères animales.

7.1 Normes d'exposition recommandées

Les normes d'exposition recommandées pour le sulfure d'hydrogène sont fondées sur ses propriétés irritantes et sur son action comme poison systémique. Les directives des provinces, au Canada, sont généralement semblables à celles qui sont élaborées par l'ACGIH aux États-Unis, sauf indication contraire.

Directive (temps)	Origine	Teneur recommandée	Référence
TLV® (8 h)	ACGIH	10 ppm (14 mg/m^3)	TLV, 1983
Valeur plafond acceptable	OSHA	20 ppm (30 mg/m^3)	NIOSH/OSHA, 1981
	Teneur admise pour de courtes durées		
STEL (15 mn)	ACGIH	15 ppm (21 mg/m^3)	TLV, 1983
Pointe (10 mn, une fois)	OSHA	50 ppm (à condition qu'aucun autre cas d'exposition mesurable ne se produise)	NIOSH/OSHA, 1978
Teneur plafond (air)	OSHA	20 ppm	PPIWR, 1981
Teneur plafond (échantillonnage de 10 mn, quarts de travail de 10 h)	NIOSH	10 ppm (15 mg/m^3)	NIOSH, 1977
Valeur plafond	NIOSH	10 ppm (15 mg/m^3)	Doc. TLV, 1981

Limite moyenne de contamination de 15 mn	Saskatchewan	20 ppm (27 mg/m^3)	Sask., 1981
	Autres aspects de la toxicité pour l'homme		
IDLH	NIOSH	300 ppm	Guide NIOSH
Teneur létale minimale (inhalation, 30 mn)	–	600 ppm	GE, 1979; RTECS, 1979
Évacuation nécessaire à cette teneur	NIOSH	50 ppm (70 mg/m^3)	NIOSH, 1977
Émission d'une alerte recommandée	–	10-50 ppm (15-70 mg/m^3)	Kirk-Othmer, 1983
Teneur limite pour une exposition de longue durée	Alberta	0,003 ppm (0,004 mg/m^3)	Kirk-Othmer, 1983

7.1.1 **Indice de toxicité par inhalation** (ITI). – Cet indice sert à mesurer les risques d'effets nocifs suite à l'inhalation d'une substance. On le calcule comme suit:

ITI = 1315,12 x (tension de vapeur en mm de Hg/TLV® en ppm). Dans le cas du sulfure d'hydrogène, dont la tension de vapeur à 20 °C est de 14 060 mm de Hg, cela donne:

$$ITI = \frac{1315,12 \times 14\,060}{10} = 1,8 \times 10^6$$

L'ITI ne s'applique qu'à la toxicité des vapeurs et ne peut en aucun cas servir à calculer la toxicité de poussières, de solides ou d'aérosols.

7.2 Données sur les effets toxiques

7.2.1 Contact avec la peau

Exposition (teneur et durée)	Effets	Référence
• CHEZ L'HOMME		
À l'état liquide	Provoque des engelures	GE, 1979
À l'état gazeux pur	Sensation localisée de chaleur, érythème et pigmentation semblable à celle d'un coup de soleil	Lang et Draize, 1972; dans NIOSH, 1977
Teneur et durée omises	Brûlures de la peau	ITII, 1981
Teneur et durée omises	Chez des personnes exposées à une forte teneur pendant une longue période, a pénétré la peau et provoqué une intoxication	TDB (online), 1981

7.2.2 Contact avec les yeux

Exposition (teneur et durée)	Effets	Référence
> 50 ppm (1 h)	Conjonctivite aiguë accompagnée de douleurs, de larmoiements et de photophobie; dans les cas graves, il peut y avoir kératoconjonctivite et vésiculation de l'épithélium cornéen	NIOSH/OSHA, 1978

> 15 ppm (> 8 h)	Conjonctivite douloureuse, parfois accompagnée d'érosion cornéenne et de spasmes des paupières	Nesswetha, 1969; dans NIOSH, 1979
Indéterminées	Kératite, opacité et apparition d'ampoules et de creux sur la cornée	NIOSH, 1977
Indéterminées	Oedème palpébral, conjonctivite bulbaire, kératoconjonctivite et lésions oculaires	USDHEW, 1977
À l'état liquide	Corrosif pour les yeux	GE, 1979

7.3 Seuil de perception des caractères organoleptiques

7.3.1 Odeur. – Odeur désagréable rappelant celle des oeufs pourris (Doc. TLV, 1981). Valeur du seuil de perception de l'odeur: 17 000 000 (20 °C) (Verschueren, 1977).

Paramètre	Milieu	Teneur	Référence
Seuil olfactif supérieur	air	0,001 ppm	OHM-TADS, 1981
Seuil olfactif inférieur	air	0,00001 ppm	OHM-TADS, 1981
Seuil olfactif	air	0,18 ppm	ASTM, 1980
Seuil olfactif (gaz)	air	0,00018 mg/l	ASTM, 1980
Seuil de détection	air	0,0047 ppm	ASTM, 1980
Seuil olfactif	air	0,0047 ppm	CHRIS, 1978
Seuil olfactif	air	> 0,03 ppm	GE, 1979
Seuil olfactif	air	0,02 à 0,003 ppm	NTIS PB 227486, 1964; dans NIOSH, 1977
Détection à 50 %	air	1 ppm	Verschueren, 1977
Détection à 100 %	air	4,1 ppm	Verschueren, 1977

À noter que l'odeur désagréable du sulfure d'hydrogène est facilement détectable à de faibles teneurs, mais elle ne peut constituer un signe de danger fiable à de fortes teneurs, car l'inhalation continue du gaz émousse rapidement le sens de l'odorat (Matheson, 1980).

7.3.2 Goût

Paramètre	Milieu	Teneur	Référence
Seuil gustatif	eau	0,05 ppm	ASTM, 1980

7.4 Études à long terme

7.4.1 Inhalation

Exposition (teneur et durée)	Effets	Référence
• CHEZ L'HOMME		
Exposition de courte durée, 12 000 ppm (la durée n'a pas été précisée)	Mort d'un sujet exposé	Simson, 1971; dans NIOSH, 1977
4000 à 2000 ppm (< 20 mn)	Mort d'un sujet exposé	Breysse, 1961; dans NIOSH, 1977

1400 mg/m^3 (< 1 mn)	Mort de 1 sujet sur 10, perte de conscience, E.C.G. anormal	Prouza, 1970; dans NIOSH, 1977
> 2000 ppm	Effets généralisés prédominant sur l'irritation locale. Paralysie du centre respiratoire, mort immédiate	CSC, 1980
2000 à 1000 ppm (< 20 mn)	Hospitalisation de 320 sujets sur 342, 22 personnes décédées dont 13 à l'hôpital, séquelles nerveuses chez 4 sujets	McCabe et Clayton, 1952; dans NIOSH, 1977
2000 à 1000 ppm	Effets généralisés dangereux pour la vie prédominant sur l'irritation locale. Manifestation immédiate des symptômes généralisés. Stimulation de la respiration (hyperpnée) suivie d'un arrêt des fonctions respiratoires (apnée), d'un collapsus, d'asphyxie et de la mort en 30 minutes	CSC, 1980
2000 à 1000 ppm	Peut entraîner le coma après une seule inspiration et causer très rapidement la mort du sujet. Peut aussi provoquer des convulsions	NIOSH/OSHA, 1978
1000 ppm	Perte immédiate de conscience, coma, arrêt de la respiration et mort rapide	DPIMR, 1981
1000 ppm (< 25 mn)	Perte de conscience, baisse de la pression artérielle, oedème pulmonaire, convulsions et hématurie	Kemper, 1966; dans NIOSH, 1977
1000 ppm (instantané)	Perte de conscience, mort de 5 personnes exposées	*Gas hazards in underground tanks and wells*, 1966, dans NIOSH, 1977
1000 à 800 ppm (30 mn)	Peut être mortel	DPIMR, 1980
1000 à 700 ppm	Peut être mortel. Effets systémiques prédominant sur les effets d'irritation locale. Manifestation des symptômes systémiques en 30 minutes. Collapsus, asphyxie et mort en une heure	CSC, 1980
700 à 500 ppm	Peut être mortel. Manifestation des symptômes systémiques en une heure. Maux de tête, étourdissements, perte de conscience et mort au bout de 4 à 8 heures. Irritation grave des voies respiratoires et des yeux (conjonctive et éphithélium) en 30 minutes. Toux, bronchite, pharyngite, dispnée, possibilité d'oedème pulmonaire, photophobie, conjonctivite et kératite	CSC, 1980
600 ppm	Provoque la mort en 30 minutes	DPIMR, 1981
538 à 283 ppm	Perte de conscience de 4 personnes exposées	NIOSH, 1977
< 500 ppm (30 mn)	Maux de tête, étourdissements, excitation, diarrhée, dysurie	DPIMR, 1981
500 à 300 ppm	Dangereux. Perte de l'odorat en ± 30 minutes. Grave irritation des yeux. Grave irritation des poumons et oedème pulmonaire après 30 minutes d'exposition	CSC, 1980
300 à 150 ppm	Irritation grave des yeux et des poumons. Perte de l'odorat en ± 30 minutes	CSC, 1980

Plusieurs centaines de ppm (15 mn)	Difficultés de respiration, oedème pulmonaire avec hémorragie, réduction des fonctions respiratoires, lésions au système nerveux (central ou périphérique) et anomalies cardiovasculaires	Simson et Simpson, 1971; dans NIOSH, 1977
230 ppm (20 mn)	Perte de conscience, crampes dans les bras, baisse de la pression artérielle d'une personne exposée	Ahlborg, 1951; dans NIOSH, 1977
215 ppm	Empoisonnement «presque mortel» de deux pilotes lors du remplissage des réservoirs à eau d'un avion employé pour lutter contre les incendies	TDB (online), 1981
150 à 50 ppm	Irritation. Il peut y avoir déficience olfactive à 150 ppm	CSC, 1980
50 ppm	Peut provoquer une intoxication	TDB (online), 1981
50 à 20 ppm	Irritation minimale des yeux et des poumons. Possibilité de troubles digestifs	CSC, 1980
25 à 14 ppm	Sur 78 sujets, 25 ont ressenti des brûlures aux yeux, 31 ont perdu l'appétit, 20 ont perdu du poids et plus de 19 ont ressenti des étourdissements	Legg, 1967; dans NIOSH, 1977
14 à 10 ppm (4 à 7 h)	6500 personnes ont subi des conjonctivites	Kirk-Othmer, 1983
10 ppm	Aucun effet	CSC, 1980
8 à 0,002 ppm	Population de Terre-Haute; beaucoup se sont plaint d'avoir des nausées (13), des maux de têtes, d'avoir le souffle court (4), des troubles du sommeil (5) et d'avoir la gorge et les yeux irrités (5)	NTIS PB 2274861964, 1964; dans NIOSH, 1977
0,1 ppm	Irritation et déficience sensorielle	TDB (online), 1981
• CHEZ LE RAT		
713 ppm (1 h)	CL 50	TDB (online), 1981
444 ppm (aucune durée mentionnée)	CL 50	RTECS, 1979
• CHEZ LA SOURIS		
673 ppm (1 h)	CL 50	TDB (online), 1981
• CHEZ LE COBAYE		
1 mg/m^3 (8 h)	CL 50	RTECS, 1979
• CHEZ LE MAMMIFÈRE		
800 ppm (5 mm)	CL 50	TDB (online), 1981
	Exposition de courte durée	
• CHEZ L'HOMME		
Teneur omise	Incidence accrue de cholécystite, cholélithiase et de cholangite chez 2465 personnes travaillant au raffinage de pétrole à haute teneur en soufre	Bulatova et coll., 1968; dans NIOSH, 1977
Teneur omise (sub-aiguë)	Signes et symptômes dénotant des lésions au cerveau, notamment: rigidité, réflexes anormaux, étourdissements, troubles du sommeil et perte de l'appétit	Poda, 1966 et Ahlborg, 1951; dans NIOSH, 1977
Teneur omise	Rien n'indique que l'empoisonnement au sulfure résulte d'une diminution du transport de l'oxygène par le sang. Chez certaines victimes	TDB (online), 1981

	d'empoisonnement à l'acide sulfhydrique, on a observé une cyanose franche, ce qui indique que l'obstruction des voies respiratoires serait plus fréquente qu'il n'est généralement admis pour ce genre de cas	
Teneur omise	Affecte la respiration cellulaire en produisant un effet toxique sur les cytochromes	McCormack, 1975
Teneur sublétale omise	Les sujets exposés à une dose sublétale se rétablissent lentement. En plus d'une toux persistante, les victimes souffrent de dilatation cardiaque, pouls lent, névrite périphérique, albuminurie et amnésie ou troubles psychiques	TDB (online), 1981
Teneur omise	L'exposition répétée augmente la sensibilité, de sorte que l'irritation des yeux, la toux et les effets systémiques peuvent se manifester à des teneurs auparavant sans effet	NIOSH/OSHA, 1978

7.4.2 **Ingestion**. – Comme, à pression atmosphérique et température normales, le sulfure d'hydrogène est à l'état gazeux, l'ingestion n'est pas susceptible de se produire (CHRIS, 1978).

7.4.3 **Pouvoirs cancérogène, mutagène et tératogène**. – On n'a trouvé aucun renseignement dans la documentation sur les effets cancérogènes, mutagènes et tératogènes du sulfure d'hydrogène dans l'air (NIOSH, 1977).

7.5 Symptômes

Dans cette section, nous n'avons pas indiqué les sources d'où sont tirés les symptômes généraux décrits dans la plupart des publications; nous ne les avons mentionnées que dans le cas de symptômes particuliers ou inhabituels.

7.5.1 Inhalation

1. Irritation du nez, de la gorge et des yeux.
2. Émoussement de l'odorat (ITII, 1981).
3. Maux de tête.
4. Rhinite.
5. Étourdissements, vertige (TDB (online), 1981).
6. Vertige, euphorie et confusion.
7. Faiblesse musculaire.
8. Sueurs froides (TDB (online), 1981).
9. Crampes musculaires.
10. Pharyngite, bronchite (ITII, 1981).
11. Difficultés respiratoires.
12. Hyperpnée (CHRIS, 1978).
13. Albuminurie urogénitale (TDB (online), 1981).
14. Palpitations, tachycardie, arhythmie et pouls lent (TDB (online), 1981).
15. Cyanose (TDB (online), 1981).
16. Névrite périphérique (TDB (online), 1981).
17. Pneumonie (ITII, 1981).

18. Convulsions (NIOSH/OSHA, 1978).
19. Oedème pulmonaire (GE, 1979).
20. Coma.
21. Paralysie de l'appareil respiratoire (CHRIS, 1978).
22. Mort.

7.5.2 **Ingestion.** – Comme il a été mentionné ci-dessus, il est peu probable que l'acide sulfhydrique soit ingéré et aucun cas n'a été signalé (CHRIS, 1978).

7.5.3 Contact avec la peau

1. Irritation locale de la peau et brûlures mineures (CSC, 1980).
2. Sensation localisée de chaud, érythème et pigmentation rappelant un coup de soleil (NIOSH, 1977).
3. Brûlures graves, au contact du sulfure d'hydrogène à l'état liquide.

7.5.4 Contact avec les yeux

1. À l'état liquide ou gazeux, le produit provoque au contact une irritation douloureuse des yeux (MCA, 1968).
2. Larmoiements.
3. Photophobie (TDB, 1981).
4. Inflammation de la conjonctive.
5. Oedème palpébral, conjonctivite bulbaire (USDHEW, 1977).
6. Kératoconjonctivite, vésiculation de l'épithélium cornéen (NIOSH, 1977).
7. Risque de lésions graves.
8. Opacité de la cornée (TDB, 1981).

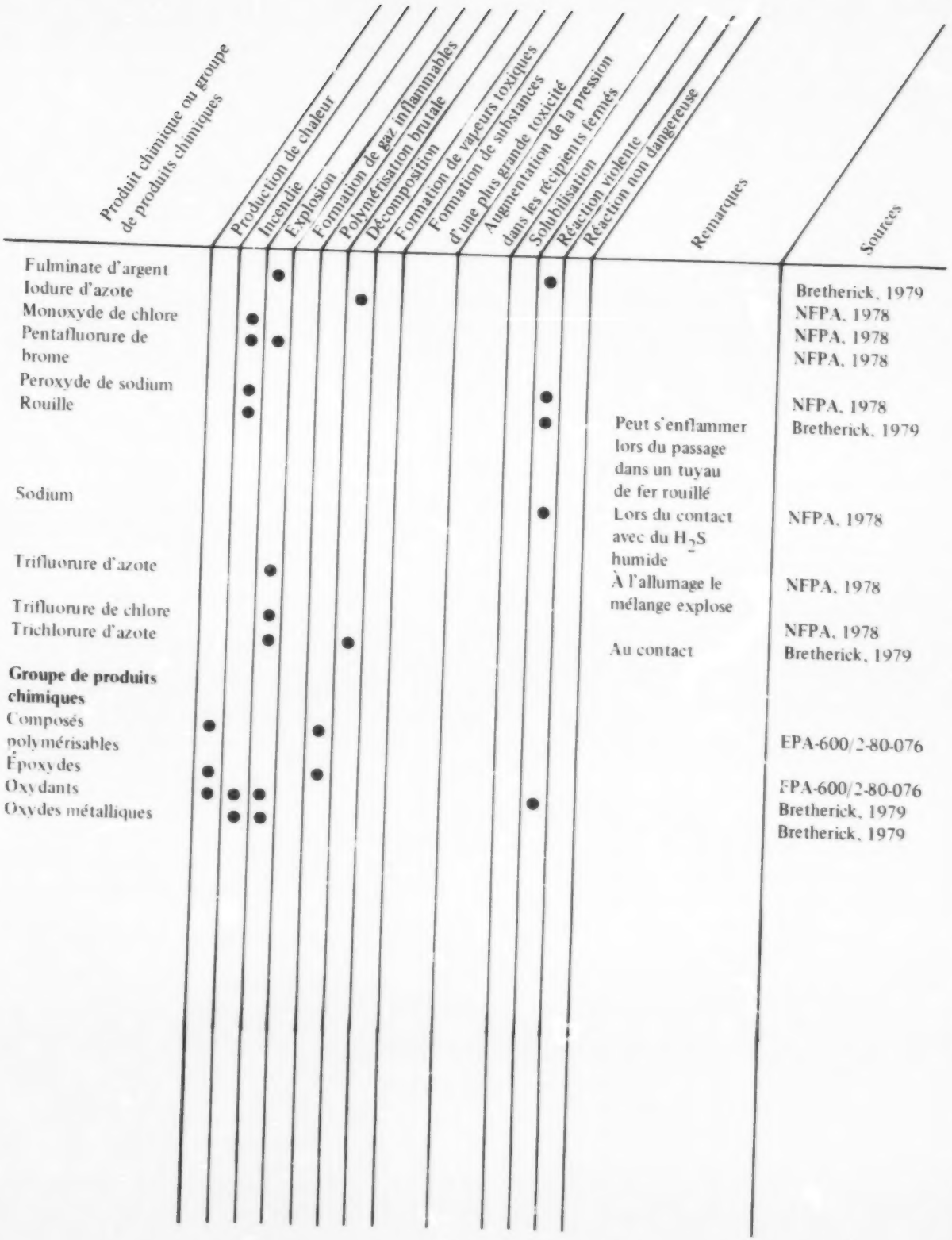
7.6 Toxicité des produits de décomposition ou de combustion pour l'être humain

7.6.1 **Anhydride sulfureux.** – Le sulfure d'hydrogène produit de l'anhydride sulfureux lorsqu'on le brûle dans l'air (Partington, 1958). L'anhydride sulfureux est un gaz incolore ininflammable à odeur forte et suffocante. Il est extrêmement irritant pour les yeux et les voies respiratoires (Merck, 1976). L'irritation des muqueuses est probablement due à l'action de l'acide sulfureux qui se forme lorsque l'anhydride sulfureux, gaz très soluble, se dissout. L'exposition de courte durée provoque une bronchoconstriction. L'intensité de la réaction dépend de la dose. La TLV® pour l'anhydride sulfureux est de 2 ppm (MPT de 8 h) et de 5 ppm (STEL) (TLV, 1983).

8 COMPATIBILITÉ CHIMIQUE

8.1 Compatibilité entre le sulfure d'hydrogène et divers produits chimiques

Produit chimique ou groupe de produits chimiques	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Sources
En général														
Chaleur		●				●							Produit des oxydes de soufre lorsque brûlé	Sax, 1979
Incendie		●	●										Danger modéré d'explosion	Sax, 1979
Produits chimiques														
Acétaldéhyde										●				NFPA, 1978
Acide nitrique	●												Incandescent avec l'acide nitrique fumant	NFPA, 1978
Anhydride chromique					●								Se décompose à la chaleur	NFPA, 1978
Chaux sodée	●	●											Incandescent dans l'air. Si suffisamment chauffé, peut réagir et allumer les composés combustibles environnants	Bretherick, 1979
Chlorure de p-bromo-benzène-diazonium			●							●				Bretherick, 1979
Chlorure de phényl-diazonium			●										Lors du mélange	NFPA, 1978
Cuivre	●												La poudre peut chauffer au rouge lors d'une exposition à un mélange d'air et de H_2S	NFPA, 1978
Difluorure d'oxygène			●										Lors du mélange	NFPA, 1978
Dioxyde de plomb	●	●											S'enflamme presque instantanément au contact	NFPA, 1978
Fluor		●											S'enflamme au contact	NFPA, 1978


Produit chimique ou groupe de produits chimiques
Production de chaleur
Incendie
Explosion
Formation de gaz inflammables
Polymérisation brutale
Décomposition
Formation de vapeurs toxiques
Formation de substances d'une plus grande toxicité
Augmentation de la pression dans les récipients fermés
Solubilisation
Réaction violente
Réaction non dangereuse
Remarques
Sources
Fulminate d'argent
Iodure d'azote
Monoxyde de chlore
Pentafluorure de brome
Peroxyde de sodium
Rouille
Sodium
Trifluorure d'azote
Trifluorure de chlore
Trichlorure d'azote
Groupe de produits chimiques
Composés polymérisables
Époxydes
Oxydants
Oxydes métalliques
Peut s'enflammer lors du passage dans un tuyau de fer rouillé
Lors du contact avec du H_2S humide
À l'allumage le mélange explose
Au contact
Bretherick, 1979
NFPA, 1978
NFPA, 1978
NFPA, 1978
NFPA, 1978
Bretherick, 1979
NFPA, 1978
NFPA, 1978
NFPA, 1978
Bretherick, 1979
EPA-600/2-80-076
EPA-600/2-80-076
Bretherick, 1979
Bretherick, 1979

9 MESURES D'INTERVENTION ET DE SÉCURITÉ

9.1 Mesures recommandées

Les brefs exposés qui figurent dans la présente section sont repris des ouvrages sur lesquels a porté notre enquête bibliographique. Leur formulation originale a même été respectée afin d'éviter toute déformation de sens. Ce faisant, il devenait impossible d'empêcher que n'apparaissent d'éventuels désaccords entre les sources. D'autre part, le lecteur notera que la mention d'une mesure ne constitue d'aucune façon une recommandation de la part d'Environnement Canada.

9.1.1 Risques d'incendie. – Le sulfure d'hydrogène est un gaz inflammable qui dégage de l'anhydride sulfureux, lors de la combustion. Il forme également des mélanges explosifs avec l'air et peut se propager sur une distance considérable vers une source d'allumage, puis causer un retour de flamme (GE, 1979; NFPA, 1978). Le sulfure d'hydrogène réagit dangereusement avec des substances oxydantes et d'autres matériaux. Il est à noter que les récipients contenant du sulfure d'hydrogène peuvent exploser lorsqu'ils sont exposés au feu (EAG, 1978).

9.1.2 Moyens d'extinction. – Refroidir à partir d'une distance de protection avec de l'eau pulvérisée les récipients touchés par le feu, afin de diminuer le risque d'une rupture des parois (GE, 1980).
Petit feu: utiliser de la poudre sèche ou de la neige carbonique.
Grand feu: utiliser de l'eau pulvérisée ou de la mousse.

Éloigner les récipients du lieu de l'incendie si cela peut être fait sans courir de risque et se tenir éloigné de l'extrémité des récipients (ERG, 1980; EAG, 1978).

9.1.3 Évacuation de la zone dangereuse. – Le présent paragraphe fournit des indications quant à la superficie à évacuer. Ces indications, qui sont tirées des sources bibliographiques consultées, ne sont pas toujours accompagnées, malheureusement, de données relatives à la quantité de polluant déversée, à la teneur en polluant de l'air, aux conditions météorologiques et aux caractéristiques du milieu. Aussi est-il recommandé au lecteur de comparer les chiffres qui apparaissent dans le tableau ci-dessous aux valeurs qui peuvent être obtenues en utilisant les méthodes de calcul de la zone dangereuse, à la section 5.3, lesquelles tiennent compte des facteurs susmentionnés. Les superficies à évacuer présentées dans le tableau ci-dessous sont établies à partir de la zone de danger immédiat et en fonction des vents dominants dont la vitesse varie de 10 à 19 km/h (EAG, 1978).

Zone à évacuer en fonction de la masse déversée

Superficie de la nappe	Rayon de la zone de danger immédiat	Superficie à évacuer, du côté sous le vent pour une sécurité maximale
20 m^2	75 m (96 pas)	645 m de longueur sur 320 m de largeur
35 m^2	100 m (132 pas)	1125 m – 480 m –
55 m^2	130 m (168 pas)	1290 m – 645 m –
75 m^2	150 m (192 pas)	1610 m – 805 m –

Dans le cas d'une explosion, la distance minimale de protection contre la volée d'éclats est de 600 m (dans toutes les directions).

9.1.4 Mesures d'intervention en cas de déversements

9.1.4.1 Information générale. – Arrêter ou ralentir l'écoulement du produit si cela ne présente aucun risque. Éliminer tout ce qui pourrait être source d'inflammation. Éviter tout contact avec la peau et éviter d'inhaler (GE, 1980). Protéger les personnes effectuant l'obturation des fuites à l'aide d'une pulvérisation d'eau. (NFPA, 1978). Sortir à l'extérieur les récipients qui fuient et les disposer de telle façon que le sulfure d'hydrogène s'échappe à l'état gazeux plutôt que liquide (OSHA MSDS, 1979). Il s'agit de faire passer le débit de gaz au travers d'une solution de chlorure ferrique ($FeCl_3$), et d'empêcher l'effet de siphonnage à l'aide d'un clapet (Sherritt MSDS, 1981). Il est bien connu que le sulfure d'hydrogène est un agent réducteur faible qui peut réduire l'ion ferrique (Fe^{3+}) en ion ferreux (Fe^{2+}) suivant la réaction:

$$2\,Fe^{3+} + H_2S\,(g) \longrightarrow 2\,Fe^{2+} + S\,(s) + 2\,H^+$$

Cette réaction produira ainsi du soufre colloïdal.

La fuite de gaz peut également être absorbée directement par des solutions de carbonate de sodium (Na_2CO_3) ou d'hydroxyde de sodium (NaOH). Le gaz dissous, faiblement acide, sera converti en sulfure de sodium soluble dans les solutions basiques (MCA, 1968). On doit tenter de garder au minimum le volume de la solution résultante de sulfure de sodium car cette dernière doit subir un traitement avant l'élimination. Bien que d'autres méthodes soient proposées dans la documentation en ce qui concerne l'absorption du sulfure d'hydrogène gazeux, celles décrites ci-haut sont considérées comme les plus simples en cas d'intervention.

9.1.4.2 Déversements sur le sol. – Lorsque le sulfure d'hydrogène est déversé sous forme liquide, il faut s'efforcer de confiner la nappe en aménageant soit des barrages chimiques ou mécaniques ou les deux (EPA-670/2-75-042). Des sorbants tels que le charbon activé sont recommandés pour contenir la nappe et pour réduire les émissions de vapeurs (CG-D-38-76). Une évaporation rapide se produira et les vapeurs peuvent être rabattues à l'aide d'une pulvérisation d'eau si cela s'avère nécessaire. Toutefois, l'eau résiduaire doit être contenue et traitée avant d'en disposer.

9.1.4.3 Déversements dans l'eau. – Contenir l'eau polluée si cela est possible. Du soufre élémentaire peut être précipité grâce à une aération ou une oxygénation du milieu pollué au moyen d'un compresseur. Les sorbants tels que le charbon actif et les résines échangeuses d'anions sont recommandés comme matériaux de sorption pour le sulfure d'hydrogène dissous (PPP, 1982; OHM-TADS, 1981). Dans l'éventualité où l'équipement décrit ci-haut n'est pas disponible, l'eau faiblement acide peut être neutralisée avec des agents tels que la chaux (CaO), le bicarbonate de sodium ($NaHCO_3$) ou le carbonate de sodium (Na_2CO_3) (EPA-670/2-75-042; MCA, 1968). Toutefois, la solution résultante doit subir un traitement subséquent pour éliminer les ions sulfure.

9.1.5 Nettoyage et traitement

9.1.5.1 Information générale. – Le traitement recommandé pour l'eau polluée est le même que celui décrit à la section 9.1.4.1.

9.1.6 Élimination du polluant. – Les solutions de sulfure d'hydrogène recueillies sur les lieux d'un déversement ne doivent jamais être rejetées dans des eaux de surface ou dans un égout. Le milieu pollué doit subir un traitement permettant de récupérer le gaz dissous ou de le convertir en un composé de soufre plus facilement récupérable, et ensuite de l'éliminer. Il se forme à la suite de ce traitement effectué sur les lieux du déversement ou dans une installation de traitement des déchets, une boue qui peut être mise en décharge tandis que l'eau peut être retournée à l'environnement. Les méthodes typiques de traitement des eaux usées applicables à la récupération du sulfure d'hydrogène ou autres sulfures sont l'adsorption sur charbon actif, l'osmose inverse, l'évaporation et les résines échangeuses d'ions (PPP, 1982).

9.1.7 Mesures de protection. – Avant d'entrer dans une zone où ni le produit déversé ni ses propriétés ne sont connues, il faut revêtir une combinaison entièrement étanche aux agents chimiques et se munir d'un appareil respiratoire autonome.

Si le produit déversé est du sulfure d'hydrogène:

- L'équipe d'intervention doit porter des vêtements étanches, des gants, des visières pare-acide (de 20 cm au minimum) et tout autre pièce de vêtement requise pour prévenir tout risque d'engelures au contact du sulfure d'hydrogène liquide ou des récipients. Des lunettes anti-éclaboussures ou antiacide sont aussi recommandées (NIOSH/OSHA, 1978; MCA, 1968).
- Le cloropel est considéré comme un excellent matériau (résistant) pour la fabrication de combinaisons de protection contre le sulfure d'hydrogène (EE-20).
- Un vêtement non imperméable qui est touché par le sulfure d'hydrogène doit être enlevé immédiatement et ne peut être porté à nouveau aussi longtemps que le sulfure d'hydrogène n'en a pas été retiré (NIOSH/OSHA, 1978).
- On doit trouver sur les lieux de l'intervention des bains oculaires automatiques et des douches à fort débit, d'accès facile (GE, 1979).

Le lecteur trouvera dans le tableau qui suit une liste des éléments minimaux de protection des voies respiratoires que requiert une intervention sur les lieux d'un déversement de sulfure d'hydrogène (NIOSH/OSHA, 1978).

Teneur en sulfure d'hydrogène ou situation particulière	Protection des voies respiratoires pour des teneurs en sulfure d'hydrogène de plus de 10 ppm
Teneur de 30 ppm ou moins	Tout respirateur à adduction d'air, combiné à un masque couvre-visage, un casque ou une cagoule. Tout appareil respiratoire autonome combiné à un masque couvre-visage.
Teneur supérieure à 300 ppm ou entrée dans une zone à teneur inconnue ou évacuation	Respirateur autonome combiné à un masque couvre-visage à pression réglable ou à tout autre mode de surpression. Ensemble comprenant un respirateur à adduction d'air de type C et un masque couvre-visage à pression réglable, à tout autre mode de surpression ou à débit constant et un respirateur autonome à pression réglable ou à tout autre mode de surpression.
Lutte contre un incendie	Respirateur autonome combiné à un masque couvre-visage à pression réglable ou à tout autre mode de surpression.
Évacuation des lieux	Tout masque à gaz offrant une protection contre les gaz acides ou le sulfure d'hydrogène. Tout respirateur autonome permettant d'évacuer les lieux.

* Seul l'équipement approuvé par le NIOSH ou la MSHA devrait être utilisé.

9.1.8 Précautions spéciales. – Stocker dans un endroit frais, bien aéré, à l'épreuve du feu (à l'extérieur si possible ou dans un endroit séparé) loin des sources de chaleur ou des lieux comportant des risques d'allumage. Garder les bouteilles à gaz loin des agents oxydants et des rayons directs du soleil. Mettre à la terre toutes les conduites ou l'équipement utilisés au cours de la manutention afin d'éliminer les étincelles dues à l'électricité statique qui pourrait provoquer un incendie ou une explosion (GE, 1979). Protéger les bouteilles à gaz contre tous dommages physiques (NFPA, 1978).

10 CAS DE DÉVERSEMENTS ACCIDENTELS

Les informations relatives aux déversements accidentels antérieurs contenues dans la présente section aideront le lecteur à comprendre les mesures d'intervention prises en cas de déversements accidentels. Seuls les cas qui présentent un intérêt pour le lecteur sont inclus dans la présente section; en conséquence, le nombre de cas décrits ne traduit ni l'ampleur du problème ni la fréquence des déversements.

Toute nouvelle information pertinente sera incluse dans les révisions ultérieures du manuel, au fur et à mesure des progrès réalisés dans le domaine des techniques d'intervention.

10.1 **Fuite d'un gazoduc** (communication personnelle de SRNMP, 1982; HMIR, 1980)

Il y a eu une fuite de sulfure d'hydrogène gazeux dans une conduite reliant une citerne de stockage de 100 tonnes contenant du sulfure d'hydrogène liquide et une installation de production de deutérium. Environ 150 travailleurs ont dû évacuer les environs immédiats de la fuite. Le transport par les principales voies de circulation (terrestre, aérien, maritime) a été soit interrompu, soit dévié pour prévenir tout risque de contact avec le gaz qui s'échappait. Les employés chargés des mesures d'urgence, après avoir revêtu des vêtements de plastique et s'être munis d'appareils respiratoires autonomes, ont constaté que le sulfure d'hydrogène s'échappait par une fissure dans la soudure de la conduite. La fissure s'est allongée jusqu'à environ 5 cm avant de se colmater avec de «l'hydrate» huit heures plus tard. On estime que la perforation s'est colmatée grâce à une couche de glace qui s'est formée à cause du phénomène de refroidissement qui accompagne l'expansion du sulfure d'hydrogène. Pendant la période où le sulfure d'hydrogène gazeux s'échappait par la fissure, les employés de l'usine ont analysé l'air des environs du fossé entourant la citerne de stockage qui se vidait; ils ont déterminé que la teneur en sulfure d'hydrogène variait de 10 ppm à 100 ppm avant que la fissure ne se colmate. Les employés responsables des mesures d'urgence ont constaté que le seul moyen de transférer le contenu de la citerne sans produire de vibrations qui agrandissent la fissure consistait à employer un compresseur pour faire sortir le sulfure d'hydrogène gazeux formé dans la citerne. Le compresseur a été placé au sommet de la citerne. Par ce moyen, le sulfure d'hydrogène gazeux a été retiré de la citerne, puis, après recompression, acheminé par des conduites jusqu'aux autres citernes de stockage situées sur les lieux. On s'est servi de jets de vapeur pour chauffer le sulfure d'hydrogène liquide de la citerne de façon à ce qu'il se transforme en gaz et qu'on puisse ainsi le transférer. Il a fallu neuf jours pour transférer les 80 tonnes de sulfure d'hydrogène liquide de la citerne dans d'autres citernes de stockage.

11 IDENTIFICATION ET DOSAGE DES POLLUANTS

Les méthodes d'analyse utilisées pour l'identification et le dosage des polluants chimiques d'intérêt prioritaire sont expliquées dans les lignes qui suivent.

Les méthodes décrites et les références signalées ont été choisies en fonction d'analyses d'échantillons d'air, d'eau et de sol devant être faites dans un laboratoire de chimie doté d'un équipement standard, éloigné du lieu d'où proviennent les prélèvements. Les auteurs ont consulté les sources habituelles exposant les méthodes normalisées ou recommandées, et décrit sommairement celles qui s'appliquent à chaque produit chimique. Parmi ces sources, on compte des publications du National Institute for Occupational Safety and Health des États-Unis (NIOSH), de l'Environmental Protection Agency des États-Unis (EPA), de l'American Water Works Association, de l'American Society for Testing and Materials et de l'American National Standards Institute.

Lorsque les méthodes normalisées ou recommandées ont été jugées fiables et suffisamment spécifiques pour l'analyse des échantillons provenant des matières déversées et du milieu touché et lorsqu'elles ne nécessitaient pas un équipement de laboratoire, hautement spécialisé, nous n'avons pas cherché plus loin. Enfin, lorsque nous avons découvert des tests simples et fiables, couramment utilisés dans l'industrie, nous les avons signalés.

11.1 Dosage du polluant présent dans l'air (analyses quantitatives)

11.1.1 Spectrophotométrie (NIOSH, 1977). – On peut doser le sulfure d'hydrogène gazeux par spectrophotométrie lorsqu'il est présent dans l'air à des teneurs de 8,5 à 63 mg/m^3 (6,1 à 45,2 ppm).

On aspire un volume d'air connu au travers d'un flacon laveur contenant 10 ml d'une solution absorbante. On recommande de prélever un échantillon d'air de 2 l à un débit de 200 ml/mn. La solution absorbante est préparée en 2 étapes. On prépare d'abord une solution de sulfate de cadmium-Stractan® en dissolvant 8,6 g de sulfate de cadmium octohydraté dans environ 600 ml d'eau, on ajoute ensuite 20 g de Stractan 10® et on dilue finalement la solution à 1 litre. La solution absorbante d'hydroxyde de cadmium-Stractan® est préparée en pipettant 5 ml d'une solution d'hydroxyde de sodium (0,6 g/l) et 5 ml de la solution de sulfate de cadmium-Stractan® dans le flacon laveur. L'addition de 5 ml d'éthanol à 95 p. 100 immédiatement avant l'échantillonnage préviendra la formation de mousse provoquée par la présence de Stractan 10®. La solution absorbante ainsi que les dépôts se trouvant au fond du flacon laveur sont transférés dans une fiole jaugée de 250 ml. Le flacon laveur est rincé avec 50 ml d'eau distillée (2 fois de suite avec un volume de 25 ml) alors que la tige est rincée à l'aide d'un volume de 20 ml d'eau distillée à la fois à l'intérieur et à l'extérieur. L'eau des rinçages est ajoutée à la solution absorbante dans la fiole volumétrique (90 ml au total). La solution d'essai d'amine est préparée en diluant 25 ml d'une solution mère d'acide sulfurique-amine à 1 litre au moyen d'une solution 1 : 1 d'acide sulfurique et d'eau distillée. La solution mère d'acide sulfurique-amine est préparée en dissolvant 12 g de para-aminodiméthylaniline dans 50 ml d'acide sulfurique concentré et 30 ml d'eau distillée.

On ajoute maintenant 15 ml de la solution d'essai d'amine à la fiole volumétrique en la faisant passer par la tige du flacon laveur afin de dissoudre le sulfure de cadmium (CdS) déposé sur les parois internes. On ajoute finalement 0,5 ml d'une solution de chlorure ferrique (celle-ci est préparée en dissolvant 100 g de chlorure ferrique hexahydraté/100 ml d'eau distillée) à la

fiole volumétrique et on complète le volume avec de l'eau distillée. On laisse le mélange reposer 20 minutes. On détermine l'absorbance à 670 nm à l'aide d'un spectrophotomètre ou d'un colorimètre étalonné à une transmittance de 100 p. 100, la lecture lors de l'essai à blanc servant de valeur de référence.

11.2 Identification du polluant présent dans l'air (analyse qualitative)

Le sulfure d'hydrogène peut être dosé dans l'air à l'aide d'un tube échantillonneur Dräger spécifique au H_2S. L'air est aspiré au moyen d'une pompe manuelle à travers le tube de détection où la substance indicatrice tourne d'incolore à brun pâle indiquant la présence du polluant. Cette méthode peut également être utilisée de façon quantitative en tenant compte du nombre de coups de pompe (Drager, 1979).

11.3 Dosage du polluant dans l'eau (analyse quantitative)

11.3.1 Spectrophotométrie (AWWA, 1980). – Par la méthode au bleu de méthylène et spectrophotométrie on peut doser les sulfures à des teneurs s'étalant de 0 à 20 ppm.

On recueille d'abord un échantillon représentatif à l'aide d'un contenant approprié. On transfère ensuite 7,5 ml d'échantillon dans chacun des deux tubes à essais identiques identifiés par A et B. Une solution mère d'un réactif acide sulfurique-amine est préparée en dissolvant 27 g d'oxalate de N,N-diméthyl-p-phénylène diamine dans un mélange froid composé de 50 ml d'acide sulfurique concentré et de 20 ml d'eau distillée. La solution de réserve diluée, pour sa part, est préparée en diluant 25 ml de la solution de réserve avec 975 ml d'un mélange 1 : 1 d'acide sulfurique concentré et d'eau distillée. Les deux solutions précédentes devraient être stockées dans des bonbonnes ambres.

On ajoute alors 0,5 ml de la solution de réserve diluée au tube à essai identifié A, ce dernier est ensuite refroidi et le mélange est dilué à 100 ml. Une solution de chlorure ferrique est préparée en dissolvant 100 g de chlorure ferrique hexahydraté dans 40 ml d'eau distillée. On transfère un volume de 0,15 ml de cette solution dans le tube à essai A et on agite.

Au tube à essai B, on ajoute 0,5 ml d'une solution 1 : 1 d'acide sulfurique concentré et d'eau distillée et 0,15 ml de la solution de chlorure ferrique puis on mélange.

On prépare une solution de bleu de méthylène en dissolvant 1 g du colorant de qualité USP dans 1 litre d'eau distillée. On ajoute cette dernière au tube à essai B jusqu'à ce que la couleur soit identique à celle du tube à essai A. Lors de la détermination par spectrophotométrie, une portion du mélange contenu dans le tube B est utilisée pour ajuster le zéro d'un spectrophotomètre approprié en se servant de cuves de traversée de 1 cm à une longueur d'onde de 664 nm. On détermine la teneur en sulfures à l'aide d'une courbe d'étalonnage.

11.4 Identification du polluant présent dans l'eau (analyse qualitative)

On recueille l'échantillon comme il est indiqué à la section 11.3.1. On dépose 2 ml de l'échantillon dans ce tube à essai qui est ensuite rendu basique à l'aide d'hydroxyde d'ammonium 6 *M*; on en ajoute 2 ml en surplus. La solution résultante est centrifugée et le liquide surnageant, éliminé. Au précipité, on ajoute 2 ml d'eau distillée et le mélange est de nouveau centrifugé. L'eau de rinçage surnageante est également éliminée. Le précipité est alors additionné de 2 ml d'acide chlorhydrique 6 *M* et un morceau de papier filtre humecté d'acétate de plomb est placé

sur l'ouverture du tube à essai. L'apparition d'une tache brunâtre ou noire indique la présence de sulfure (Welcher, 1955).

11.5 Dosage du polluant présent dans le sol (analyses quantitatives)

11.5.1 Titrage (Hesse, 1972). – Le soufre total peut être dosé par sa réduction en sulfure d'hydrogène dans le sol. On prépare un échantillon de sol destiné à l'analyse en pulvérisant le sol reçu au laboratoire et en gardant tout ce qui passe à travers un tamis de 0,15 mm. On prend ensuite 1 gramme de cet échantillon, on lui ajoute 5 g de fer en poudre réduite, et on pulvérise le tout encore davantage dans un mortier en agate. On prélève environ la moitié du mélange que l'on pèse et introduit ensuite dans un tube à combustion en quartz de 5 cm de long et de 5 cm de diamètre. On ajoute ensuite 2 g additionnels de fer réduit qui agit comme une couche protectrice. Le tube est alors placé dans un bloc chauffant vertical en s'assurant que la bordure du mélange soit située juste au-dessous du serpentin chauffant supérieur. On supporte le tube à l'aide d'un fil rigide afin de pouvoir modifier aisément la position du tube. On fait chauffer le serpentin supérieur pendant 10 minutes, à ce moment, on fait également chauffer le serpentin inférieur. On fait chauffer pendant 10 minutes, puis on arrête le chauffage et on laisse refroidir l'appareillage.

Le tube à combustion est placé horizontalement dans un ballon à réaction où l'on ajoute 50 ml d'acide chlorhydrique dilué (6 *N*) et on fait passer de l'azote immédiatement dans l'appareillage. On place également 25 ml d'une solution 0,02 *M* d'hypochlorite de potassium et 25 ml d'eau distillée dans le ballon servant à l'absorption. Lorsque la réaction semble avoir cessé, on chauffe le ballon d'absorption pendant 45 minutes tout en continuant à faire passer de l'azote dans l'appareillage. À la fin de cette période, on fait passer un débit d'azote beaucoup plus rapide, puis on retire le ballon d'absorption. On ajoute à ce dernier, 5 ml d'une solution d'iodure de potassium (10 p. 100) et 5 ml d'une solution d'acide sulfurique (10 p. 100). L'iode libéré par cette méthode est titré avec du thiosulfate de sodium 0,02 *M* normalisé en utilisant l'amidon comme indicateur. On devrait également effectuer la détermination sur un témoin.

11.6 Identification du polluant présent dans le sol (analyse qualitative)

On prépare un échantillon comme il est indiqué à la section 11.5.1 jusqu'à l'étape où l'on fait rapidement passer de l'azote dans l'appareillage.

On dépose 2 ml de l'échantillon dans un tube à essai qui est ensuite rendu basique à l'aide d'hydroxyde d'ammonium 6 *M*; on en ajoute 2 ml en surplus. La solution est agitée et on lui ajoute 2 ml d'une solution 0,5 *M* de nitrate de zinc tétraminé. La solution résultante est centrifugée et le liquide surnageant, éliminé. Au précipité, on ajoute 2 ml d'eau distillée et le mélange est de nouveau centrifugé. L'eau de rinçage surnageante est également éliminée. Le précipité est alors additionné de 2 ml d'acide chlorhydrique 6 *M* et un morceau de papier filtre humecté d'acétate de plomb est placé sur l'ouverture du tube à essai. L'apparition d'une tache brunâtre ou noire indique la présence de sulfure (Welcher, 1955).

12 RÉFÉRENCES ET BIBLIOGRAPHIE

(Reproduites de l'anglais)

12.1 Références

AMC: Astro Metallurgical Corp., Corrosion Resistance Chart for Ti, Zr, Ta, Wooster, OH. Not dated.

AOS: A.O. Smith-Inland Inc., Chemical Resistance, Fiber Glass Reinforced Piping Systems, Little Rock, AR. (April 15, 1982).

API: Alon Processing Inc., Alonized Steels for High Temperature and Corrosive Service, Torentum, PA. Not dated.

ASS: Atlas Steel, Atlas Stainless Steels, Toronto, Ontario. Not dated.

ASTM 1980: American Society for Testing and Materials, Compilation of Odor and Taste Threshold Values Data, ASTM, Philadelphia, Pennsylvania, ASTM Data Series DS-48A. (1980).

AWWA 1976: American Water Works Association, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 14th Edition, American Public Health Association, Washington, D.C. (1976).

Bailar 1973: Bailar, J.C., et al. (ed.), Comprehensive Inorganic Chemistry, Pergamon Press, Oxford. (1973).

Becker 1973: Becker, C.D., Thatcher, T.O., Toxicity of Power Plant Chemicals to Aquatic Life, U.S. Atomic Energy Commission, Washington, D.C. (June, 1973).

Bennett 1980: Bennett, J.B., Barnes, K., Shinn, J.H., "Interactive Effects of Hydrogen Sulphide and Ozone on the Yield of Snap Beans (Phaseolus vulgaris)", Environ. Exp. Bot., Vol. 20, No. 2, pp. 107-114. (1980).

Bonn 1967: Bonn, E.W., Follis, B.J., "Effects of Hydrogen Sulphide on Channel Catfish (Ictalurus Punctatus)", Proc. 20th Ann. Conf., Southeast Assoc. Game Fish Comm., pp. 424-432. (1967).

Braker 1977: Braker, W., Mossman, A.L., Siegal, D., Effects of Exposure to Toxic Gases - First Aid and Medical Treatment, Second Edition, Matheson, Lyndhurst, New Jersey. (1977).

Bretherick 1979: Bretherick, L., Handbook of Reactive Chemical Hazards, Second Edition, Butterworths, London, England. (1979).

CBG 1980: Southam Business Publications Ltd., "1981 Chemical Buyers' Guide", Canadian Chemical Processing, Vol. 64, No. 9, Don Mills, Ontario. (December, 1980).

CCP 1978: Canadian Chemical Processing, Vol. 62, No. 1. (January, 1978).

CCPA 1982: Canadian Chemical Producers' Association, Private Communication, Ottawa, Ontario. (1982).

CCR 1978: Department of Industry, Trade and Commerce, Canadian Chemical Register, Ottawa, Canada. (1978).

CDS 1967: National Association of Corrosion Engineers, Corrosion Data Survey, Houston, Texas. (1967).

CE 1980: Kirby, G.N., "How to Select Materials", Chemical Engineering, pp. 86-131. (November 3, 1980).

CE 1982: Gossett, J.L., "Stop Stress-Corrosion Cracking", Chemical Engineering, pp. 143-146. (November 15, 1982).

CG-D-38-76: Bauer, W.H., Borton, D.N., et al., Agents, Methods and Devices for Amelioration of Discharge of Hazardous Chemicals on Water, Rensselaer Polytechnic Institute for the U.S. Coast Guard, Washington, D.C., CG-D-38-76. (August, 1975).

CHRIS 1974: U.S. Department of Transportation, CHRIS Hazard Assessment Handbook, U.S. Coast Guard, Washington, D.C., CG-446-3. (April, 1974).

CHRIS 1978: U.S. Department of Transportation, Coast Guard, Chemical Hazards Response Information System (CHRIS), Washington, D.C. (1978).

CIL 1964: Clemmer Industries (1964) Ltd., Chemical Resistance of "Zytel" Nylon Resins, Waterloo, Ontario. Not dated.

CMI 1980: Boyd, B., "Sulphur", Canadian Mineral Industry 1986, Department of Energy, Mines & Resources. (1980).

Corpus 1983: "Thio-Pet, Laurentide Slated to Supply Bruce Sulphide Needs", Corpus Chemical Report, Vol. 9, No. 6, p. 2. (1983).

Cotton 1972: Cotton, F.A., Wilkinson, G., Advanced Inorganic Chemistry, Interscience Publishers, New York. (1972).

CRC 1957: Hodgman, C.D. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 39th Edition, Chemical Rubber Publishing Co., Cleveland, OH. (1957).

CRC 1980: Weast, R.C. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 60th Edition, Chemical Rubber Publishing Company, Cleveland, Ohio. (1980).

CRC 1982: Weast, R.C. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 62nd Edition, Chemical Rubber Publishing Co., Cleveland, OH. (1982).

CSC 1980: Canada Safety Council, Data Sheet: Occupational Safety and Health B-3, Hydrogen Sulphide H_2S, Occupational Section of the Canada Safety Council, Ottawa, Ontario. (1980).

DCRG 1978: Dow Chemical Company, Dow Chemical Resistance Guide for Dow Plastic Lined Piping Products, Midland, Michigan. (1978).

Doc. TLV 1981: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Documentation of Threshold Limit Values, Fourth Edition, Cincinnati, Ohio. (1981).

DPPED 1967: DOM-X, DOM-X Plastic Pipe Engineering Data, Toronto, Ontario. (1967).

Drager 1979: Leichnitz, K. (ed.), "Air Investigations and Technical Gas Analysis with Drager Tubes", Detector Tube Handbook, Fourth Edition, Lubeck, Germany, pp. 94-95. (1979).

EAG 1978: U.S. Department of Transportation, Emergency Action Guide for Selected Hazardous Materials, U.S. D.O.T. Research and Special Programs Administration, Materials Transportation Bureau, Washington, D.C. (1978).

EE-20: Buchan, Lawton, Parent Ltd., A Survey of Self-Contained Breathing Apparatus and Totally-Encapsulated Chemical Protection Suits, Unedited Version. Not dated.

EPA 440/9-75-009: Environmental Protection Agency, Supplement to Development Document: Hazardous Substances Regulations, Section 311 Federal Water Pollution Control Act, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water and Standards, Washington, D.C., EPA 440/9-75-009. (November, 1975).

EPA 600/2-80-076: Hatayama, H.K., Chen, J.J., deVera, E.R., Stephens, R.D., Storm, D.L., A Method for Determining the Compatibility of Hazardous Wastes, Municipal Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio. (April, 1980).

EPA 670/2-75-042: Pilie, R.J., et al., Methods to Treat, Control and Monitor Spilled Hazardous Materials, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, Ohio, EPA 670/2-75-042. (June, 1975).

ERG 1980: U.S. Department of Transportation, Hazardous Materials, 1980 Emergency Response Guidebook, U.S. Department of Transportation, Research and Special Programs Administration, Materials Transportation Bureau, Washington, D.C. (1980).

FMT: Futura Metal Technology, Corrosion Data Sheet, West Lake Village, CA. Not dated.

GAC: Gale Alloy Corp., Corrosion Resistance Data for Non-Magnetic Stainless Steel, Amityville, NY, Catalog No. 1280. Not dated.

GE 1979: General Electric Company, Material Safety Data Sheets, Material Safety Information Services, Schenectady, New York. (July, 1979).

GF: GF Plastic Systems Inc., GF Plastic Systems, Santa Ana, California. Not dated.

GPP: Uniroyal, Guide to Polymer Properties, Uniroyal Inc., Mishawaka, Indiana. Not dated.

Guidelines/Canadian/Water 1978: Federal-Provincial Working Group on Drinking Water of the Federal-Provincial Advisory Committee on Environmental and Occupational Health, Guidelines for Canadian Drinking Water Quality 1978, Ministry of National Health and Welfare, Ottawa, Canada. (1978).

HCG 1981: Compressed Gas Association, Inc., Handbook of Compressed Gases, Second Edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, New York. (1981).

Hesse 1972: Hesse, P.R., A Textbook of Soil Chemical Analysis, Chemical Publishing Co. Inc., New York, New York, pp. 319-321, 325. (1972).

HIS 1969: Hydraulic Institute, Hydraulic Institute Standards, 12th Edition, New York, New York. (1969).

HMIR 1980: World Information Systems, "Hydrogen Sulphide Leak in South Carolina Prompts Traffic Restrictions", Hazardous Material Intelligence Report, p. 4. (6 June 1980).

HSUM 1979: Sherritt Gordon Mines Limited, Hydrogen Sulphide User's Manual, Edmonton, Alberta. (1979).

ILO 1980: International Labour Organization, Occupational Exposure Limits for Airborne Toxic Substances, Second (Revised) Edition, Geneva, Switzerland. (1980).

ITII 1981: International Technical Information Institute, Toxic and Hazardous Industrial Chemicals Safety Manual for Handling and Disposal with Toxicity and Hazard Data, Japan. (1981).

JANAF 1971: Stull, D.R., Prophet, H., JANAF Thermochemical Tables, Second Edition, Office of Standard Reference Data, U.S. National Bureau of Standards, Washington, D.C. (June, 1971).

Jorgensen 1979: Jorgensen, S.E. (ed.), Handbook of Environmental Data and Ecological Parameters, International Society for Ecological Modelling, Pergamon Press, Oxford, England, p. 580. (1979).

JSSV 1979: Jenkins Brothers, Jenkins Corrosion Resistant Stainless Steel Valves, New York, New York. (1979).

Kirk-Othmer 1983: Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, 3rd Edition, Vol. 22, John Wiley & Sons, New York, NY. (1983).

Krause 1979: Krause, G.H.M., "Relative Phytotoxicity of Hydrogen Sulphide", Staub. - Reinhalt. Luft., Vol. 39, No. 5, pp. 165-167. (1979).

Lefèvre 1980: Lefèvre, M.J., Becker, E.O., First Aid Manual for Chemical Accidents - For Use with Nonpharmaceutical Chemicals, Dowden, Hutchinson, and Ross, Inc., Stroudsburg, Pennsylvania. (1980).

Linde 1982: Linde Specialty Gases, Union Carbide Canada Limited, Oakville, Ontario. (1982).

Matheson 1974: Matheson Gas Products, The Matheson Unabridged Gas Data Book, Lyndhurst, New Jersey. (1974).

Matheson 1980: Braker, W., Mossman, A.L., Matheson Gas Data Book, Sixth Edition, Matheson, Lyndhurst, New Jersey. (1980).

Matheson 1981: Matheson Gas Data Book, Sixth Edition, Matheson, Lyndhurst, New Jersey. (1981).

MCA 1968: Manufacturing Chemists Association, Chemical Safety Data Sheet, Washington, D.C. (1968).

Merck 1976: Windholz, M., Budavari, S., Stroumtsos, L.Y., Fertig, M.N. (ed.), The Merck Index, Ninth Edition, Merck & Co. Inc., Rahway, New Jersey. (1976).

Meyer 1977: Meyer, E., Chemistry of Hazardous Materials, Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey. (1977).

MWPP 1978: Rehau, Mechan-O-Joint Water Pressure Pipe and Fittings, Montreal, Quebec. (1978).

N.B. Clean Environment Act 1973: Environment Canada, Fredericton, N.B. (1973).

NFPA 1978: National Fire Protection Association, Fire Protection Guide on Hazardous Materials, Seventh Edition, Boston, Massachusetts. (1978).

Nikolaevskaya 1980: Nikolaevskaya, T.V., "Effects of Hydrogen Sulphide on Woody Plants and Grasses", Gazoustoich. Rast., pp. 30-40. (1980).

NIOSH 1975: National Institute for Occupational Safety and Health, Criteria for a Recommended Standard - Occupational Exposure to Hydrogen Sulphide, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Cincinnati, Ohio. (1975).

NIOSH 1977: National Institute for Occupational Safety and Health, Manual of Analytical Methods, Second Edition, Vol. 2, S. 4., Cincinnati, Ohio. (April, 1977).

NIOSH Guide 1978: U.S. Department of Health, Education and Welfare, Pocket Guide to Chemical Hazards, U.S. Department of Health, Education, and Welfare, and U.S. Department of Labor, Washington, D.C. (1978).

NIOSH/OSHA 1981: U.S. Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Occupational Health Guidelines for Chemical Hazards, NIOSH Publication No. 81-123. (1981).

NRC 1981: National Research Council, Prudent Practices for Handling Chemicals in Laboratories, National Academy Press, Washington, D.C. (1981).

NRCC 1977: National Research Council of Canada, Sulphur and Its Inorganic Derivatives in the Canadian Environment, NRCC No. 15015, Ottawa, Canada. (1977).

OHM-TADS 1981: Oil and Hazardous Materials Technical Assistance Data System, U.S. Environmental Protection Agency, Oil and Special Materials Control Division, Office of Water Program Operations, Washington, D.C. (1981).

Ontario E.P. Act 1971: Ontario Ministry of the Environment, "The Environmental Protection Act, Statutes of Ontario 1971", Chapter 86, as amended; and Regulation 15 (General) as amended. (1971).

Oseid 1974: Oseid, D.M., Smith, L.L., Jr., "Factors Influencing Acute Toxicity Estimates of Hydrogen Sulphide to Freshwater Invertebrates", Water Research, Vol. 8, pp. 739-746. (1974).

OSHA MSDS 1979: Occupational Safety and Health Administration, Hydrogen Sulphide Material Safety Data Sheet, No. 65, U.S. Department of Labor, Washington, D.C. (February, 1979).

Partington 1958: Partington, J.R., General and Inorganic Chemistry, Third Edition, MacMillan and Co. Ltd., New York, New York. (1958).

Patty 1981: Clayton, G.D., Clayton, F.E. (ed.), Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, Vols. 2A, 2B, Third Revised Edition, John Wiley and Sons Canada Limited, Toronto, Ontario. (1981).

PC SRNMP 1982: Personal Communication, Savannah River Nuclear Materials Plant, Aiken, South Carolina. (7 June 1982).

Percy 1983: Percy, R.J., Private Communication. (January 31, 1983).

Perry 1973: Perry, R.H., Chilton, C.H. (ed.), Chemical Engineer's Handbook, Fifth Edition, McGraw-Hill Book Company, New York. (1973).

PPP 1982: Campbell, M.E., et al., "Water Recovery Technologies", Profit from Pollution Prevention, Pollution Probe Foundation, Toronto, Ontario. (1982).

Quebec 1979: Cabinet du Lieutenant-Gouverneur, Gazette Officelle du Québec: Partie 2, Lois et règlements, L'Éditeur Officiel du Québec. (Novembre, 1979).

Raj 1974: Raj, P.P.K., Lakekar, A.S., Assessment Models in Support of Hazard Assessment Handbook, Prepared for the Department of Transportation, U.S. Coast Guard, Washington, D.C., p. 238. (January, 1974).

Rosenstock 1977: Rosenstock, H.M., Draxl, K., Steiner, B., Herron, J.T., Energetics of Gaseous Ions, National Bureau of Standards, Washington, D.C. (1977).

RTDCR 1974: Regulations for the Transportation of Dangerous Commodities by Rail, Canadian Transport Commission, Published by Supply and Services Canada, Ottawa, Ontario. (1974).

RTECS 1979: Lewis, R.J., Tatken, R.L., Registry of Toxic Effects of Chemical Substances, 1979, Vols. 1 and 2, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Cincinnati, Ohio. (September, 1980).

Sask. 1981: Saskatchewan Ministry of Labour, Occupational Health and General Regulations, Saskatchewan Labour, Occupational Health and Safety Branch, Regina, Saskatchewan. (May, 1981).

Sax 1979: Sax, N.I., Dangerous Properties of Industrial Materials, Fifth Edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, New York. (1979).

Sax 1981: Sax, J.R., Dangerous Properties of Industrial Materials Report, Vol. 1, No. 6, pp. 68-70. (July/August, 1981).

Scott 1979: Scott's Industrial Directory of Ontario Manufacturers, 12th Edition, Penstock Directories Limited, Oakville, Ontario. (1979).

SFC 1982: Standard Fittings Company, Corrosion Resistance Chart, Opelousas, LA. (June, 1982).

Sherritt MSDS 1982: Sherritt Gordon Mines Limited, Material Safety Data Sheet, Fort Saskatchewan, Alberta. (1982).

Smith 1972: Smith, L.L., Oseid, D.M., "Effects of Hydrogen Sulphide on Fish Eggs and Fry", Water Research, Vol. 6, pp. 711-720. (1972).

Spehar 1981: Spehar, R.L., Lemke, A.E., et al., "Effects of Pollution on Freshwater Fish", J. Water Pollution Control Federation, Vol. 53, No. 6. (June, 1981).

Steubing 1979: Steubing, L., "Effect of Hydrogen Sulphide on Higher Plants", Staub-Reinhalt. Luft., Vol. 39, No. 5, pp. 161-164. (1979).

TCM 1979: General American Transportation Corporation, Tank Car Manual, Chicago, Illinois. (May, 1979).

TDB (on-line) 1981: Toxicity Data Base, Toxicology Information On-Line. Available from National Library of Medicine, Washington, D.C. (1981).

Thio-Pet UM 1979: Thio-Pet Chemicals Limited, Hydrogen Sulphide User's Manual, Edmonton, Alberta. (January, 1979).

Thompson 1979: Thompson, C.R., Kats, G., Lennox, R.W., "Effects of Fumigating Crops with Hydrogen Sulphide or Sulphur Dioxide", Calif. Agric., Vol. 33, No. 3, pp. 9-10. (1979).

TLV 1983: American Conference of Governmental Industrial Hygienists, TLV®s Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Workroom Environment with Intended Changes for 1983-84, Cincinnati, Ohio. (1983).

TPS 1978: GSR Fluid Handling, Thermoplastic Piping Systems, Sun Valley, California. (1978).

USDHEW 1977: U.S. Department of Health, Education and Welfare, Occupational Diseases. A Guide to Their Recognition, National Institute for Occupational Safety and Health, DHEW (NIOSH) No. 77-181. (1977).

Verschueren 1977: Verschueren, K., Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals, Van Nostrand Reinhold Company, New York, New York. (1977).

Water Management Goals 1978: Ontario Ministry of the Environment, Water Management Goals, Policies, Objectives and Implementation Procedures for the Ministry of the Environment, Toronto, Ontario, p. 33. (November, 1978).

Welcher 1955: Welcher, F.J., Hahn, R.B., Semimicro Qualitative Analysis, D. Van Nostrand Co., Inc., Princeton, New Jersey, p. 457. (1955).

Wilber 1969: Wilber, C.G., The Biological Aspects of Water Pollution, Charles C. Thomas, Springfield, Illinois. (1969).

WQC 1963: McKee, J.E., Wolf, H.W., Water Quality Criteria, Second Edition, Resources Agency of California, State Water Quality Control Board. (1963).

WQC 1972: National Academy of Sciences, Water Quality Criteria 1972: A Report of the Committee on Water Quality Criteria, Environmental Studies Board, National Academy of Sciences, Washington, D.C., pp. 191-193, 255-256. (1972).

12.2 Bibliographie

Alon Processing Inc., Alonized Steel for High Temperature and Corrosive Service, Torentum, PA. Not dated.

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Documentation of Threshold Limit Values, Fourth Edition, Cincinnati, Ohio. (1981).

American Conference of Governmental Industrial Hygienists, TLV®s Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Workroom Environment with Intended Changes for 1983-84, Cincinnati, Ohio. (1983).

American Society for Testing and Materials, Compilation of Odor and Taste Threshold Values Data, ASTM, Philadelphia, Pennsylvania, ASTM Data Series DS-48A. (1980).

American Water Works Association, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 14th Edition, American Public Health Association, Washington, D.C. (1976).

A.O. Smith-Inland Inc., Chemical Resistance, Fiber Glass Reinforced Piping Systems, Little Rock, AR. (April 13, 1982).

Astro Metallurgical Corp., Corrosion Resistance Chart for Ti, Zr, Ta, Wooster, OH. Not dated.

Atlas Steel, Atlas Stainless Steels, Toronto, Ontario. Not dated.

Bailar, J.C., et al. (ed.), Comprehensive Inorganic Chemistry, Pergamon Press, Oxford (1973).

Bauer, W.H., Borton, D.N., et al., Agents, Methods and Devices for Amelioration of Discharge of Hazardous Chemicals on Water, Rensselaer Polytechnic Institute for the U.S. Coast Guard, Washington, D.C., CG-D-38-76. (August, 1975).

Becker, C.D., Thatcher, T.O., Toxicity of Power Plant Chemicals to Aquatic Life, U.S. Atomic Energy Commission, Washington, D.C. (June, 1973).

Bennett, J.B., Barnes, K., Shinn, J.H., "Interactive Effects of Hydrogen Sulphide and Ozone on the Yield of Snap Beans (Phaseolus vulgaris)", Environ Exp. Bot., Vol. 20, No. 2, pp. 107-114. (1980).

Bonn, E.W., Follis, B.J., "Effects of Hydrogen Sulphide on Channel Catfish (Ictalurus Punctatus)", Proc. 20th Ann. Conf., Southeast Assoc. Game Fish Comm., pp. 424-432. (1967).

Boyd, B., "Sulphur", Canadian Mineral Industry 1980, Department of Energy Mines & Resources. (1980).

Braker, W., Mossman, A.L., Matheson Gas Data Book, Sixth Edition, Matheson, Lyndhurst, New Jersey. (1980).

Braker, W., Mossman, A.L., Siegal, D., Effects of Exposure to Toxic Gases - First Aid and Medical Treatment, Second Edition, Matheson, Lyndhurst, New Jersey. (1977).

Bretherick, L., Handbook of Reactive Chemical Hazards, Second Edition, Butterworths, London, England. (1979).

Buchan, Lawton, Parent Ltd., A Survey of Self-Contained Breathing Apparatus and Totally-Encapsulated Chemical Protection Suits, Unedited Version. Not dated.

Cabinet du Lieutenant-Gouverneur, Gazette Officelle du Québec: Partie 2, Lois et règlements,, L'Editeur Officiel du Quebec. (Novembre, 1979).

Campbell, M.E., et al., "Waste Recovery Technologies", Profit from Pollution Prevention, Pollution Probe Foundation, Toronto, Ontario. (1982).

Canada Safety Council, Data Sheet: Occupational Safety and Health B-3, Hydrogen Sulphide H_2S, Occupational Section of the Canada Safety Council, Ottawa, Ontario. (1980).

Canadian Chemical Processing, Vol. 62, No. 1. (January, 1978).

Canadian Transport Commission, Regulations for the Transportation of Dangerous Commodities by Rail, published by Supply and Services Canada, Ottawa, Ontario. (1974).

Clayton, G.D., Clayton, F.E. (ed.), Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, Vols. 2A, 2B, Third Revised Edition, John Wiley and Sons Canada Limited, Toronto, Ontario. (1981).

Clemmer Industries (1964) Ltd., Chemical Resistance of "Zytel" Nylon Resins, Waterloo, Ontario. Not dated.

Compressed Gas Association, Inc., Handbook of Compressed Gases, Second Edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, New York. (1981).

Cotton, F.A., Wilkinson, G., Advanced Inorganic Chemistry, Interscience Publishers, New York. (1972).

Department of Industry, Trade and Commerce, Canadian Chemical Register, Ottawa, Canada. (1978).

DOM-X, DOM-X Plastic Pipe Engineering Data, Toronto, Ontario. (1967).

Dow Chemical Company, Dow Chemical Resistance Guide for Dow Plastic Lined Piping Products, Midland, Michigan. (1978).

Environment Canada, N.B. Clean Environment Act 1973, Fredericton, N.B. (1973).

Environmental Protection Agency, Supplement to Development Document: Hazardous Substances Regulations, Section 311 Federal Water Pollution Control Act, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water and Standards, Washington, D.C., EPA 440/9-75-009. (November, 1975).

Federal-Provincial Working Group on Drinking Water of the Federal-Provincial Advisory Committee on Environmental and Occupational Health, Guidelines for Canadian Drinking Water Quality 1978, Ministry of National Health and Welfare, Ottawa, Canada. (1978).

Futura Metal Technology, Corrosion Data Sheet, Westlake Village, CA. Not dated.

Gale Alloy Corp., Corrosion Resistance Data for Non-magnetic Steel, Catalog No. 1280, Amityville, NY. Not dated.

General American Transportation Corporation, Tank Car Manual, Chicago, Illinois. (May, 1979).

General Electric Company, Material Safety Data Sheets, Material Safety Information Services, Schenectady, New York. (July, 1979).

GF Plastic Systems Inc., GF Plastic Systems, Santa Ana, California. Not dated.

Gossett, J.L., "Stop Stress-Corrosion Cracking" Chemical Engineering, pp. 143-146. (November 15, 1982).

GSR Fluid Handling, Thermoplastic Piping Systems, Sun Valley, California. (1978).

Hatayama, H.K., Chen, J.J., deVera, E.R., Stephens, R.D., Storm, D.L., A Method for Determining the Compatibility of Hazardous Wastes, Municipal Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio. (April, 1980).

Hesse, P.R., A Textbook of Soil Chemical Analysis, Chemical Publishing Co. Inc., New York, New York, pp. 319-321, 325. (1972).

Hodgman, C.D. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 39th Edition, Chemical Rubber Publishing Co., Cleveland, OH. (1957).

Hydraulic Institute, Hydraulic Institute Standards, 12th Edition, New York, New York. (1969).

International Labour Organization, Occupational Exposure Limits for Airborne Toxic Substances, Second (Revised) Edition, Geneva, Switzerland. (1980).

International Technical Information Institute, Toxic and Hazardous Industrial Chemicals Safety Manual for Handling and Disposal with Toxicity and Hazard Data, Japan. (1981).

Jenkins Brothers, Jenkins Corrosion Resistant Stainless Steel Valves, New York, New York. (1979).

Jorgensen, S.E. (ed.), Handbook of Environmental Data and Ecological Parameters, International Society for Ecological Modelling, Pergamon Press, Oxford, England, p. 580. (1979).

Kirby, G.N., "How to Select Materials", Chemical Engineering, pp. 86-181. (November 3, 1980).

Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, 3rd Edition, Vol. 22, John Wiley & Sons, New York. (1983).

Krause, G.H.M., "Relative Phytotoxicity of Hydrogen Sulphide", Staub. -Reinhalt. Luft., Vol. 39, No. 5, pp. 165-167. (1979).

Lefèvre, M.J., Becker, E.O., First Aid Manual for Chemical Accidents - For Use with Nonpharmaceutical Chemicals, Dowden, Hutchinson, and Ross, Inc., Stroudsburg, Pennsylvania. (1980).

Leichnitz, K. (ed.), "Air Investigations and Technical Gas Analysis with Drager Tubes", Detector Tube Handbook, Fourth Edition, Lubeck, Germany, pp. 94-95. (1979).

Lewis, R.J., Tatken, R.L., Registry of Toxic Effects of Chemical Substances, 1979, Vols. 1 and 2, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Cincinnati, Ohio. (September, 1980).

Manufacturing Chemists Association, Chemical Safety Data Sheet, Washington, D.C. (1968).

Matheson Gas Products, The Matheson Unabridged Gas Data Book, Lyndhurst, New Jersey. (1974).

McKee, J.E., Wolf, H.W., Water Quality Criteria, Second Edition, Resources Agency of California, State Water Quality Control Board. (1963).

Meyer, C., Chemistry of Hazardous Materials, Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey. (1977).

National Academy of Sciences, Water Quality Criteria 1972: A Report of the Committee on Water Quality Criteria, Environmental Studies Board, National Academy of Sciences, Washington, D.C., pp. 191-193, 255-256. (1972).

National Association of Corrosion Engineers, Corrosion Data Survey, Houston, Texas. (1967).

National Fire Protection Association, Fire Protection Guide on Hazardous Materials, Seventh Edition, Boston, Massachusetts. (1978).

National Institute for Occupational Safety and Health, Manual of Analytical Methods, Second Edition, Vol. 2, S.4., Cincinnati, Ohio. (April, 1977).

National Institute for Occupational Safety and Health, Criteria for a Recommended Standard - Occupational Exposure to Hydrogen Sulphide, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Cincinnati, Ohio. (1975).

National Research Council, Prudent Practices for Handling Chemicals in Laboratories, National Academy Press, Washington, D.C. (1981).

National Research Council of Canada, Sulphur and Its Inorganic Derivatives in the Canadian Environment, NRCC No. 15015, Ottawa, Canada. (1977).

Nikolaevskaya, T.V., "Effects of Hydrogen Sulphide on Woody Plants and Grasses", Gazoustoich. Rast., pp. 30-40. (1980).

Occupational Safety and Health Administration, Hydrogen Sulphide Material Safety Data Sheet, No. 65, U.S. Department of Labor, Washington, D.C. (February, 1979).

Oil and Hazardous Materials Technical Assistance Data System, U.S. Environmental Protection Agency, Oil and Special Materials Control Division, Office of Water Program Operations, Washington, D.C. (1981).

Ontario Ministry of the Environment, "The Environmental Protection Act, Statutes of Ontario 1971", Chapter 86, as amended; and Regulation 15 (General) as amended. (1971).

Ontario Ministry of the Environment, Water Management Goals, Policies, Objectives and Implementation Procedures for the Ministry of the Environment, Toronto, Ontario, p. 33. (November, 1978).

Oseid, D.M., Smith, L.L., Jr., "Factors Influencing Acute Toxicity Estimates of Hydrogen Sulphide to Freshwater Invertebrates", Water Research, Vol. 8, pp. 739-746. (1974).

Partington, J.R., General and Inorganic Chemistry, Third Edition, MacMillan and Co. Ltd., New York, New York. (1958).

Percy, R.J., Private Communication. (January 31, 1983).

Perry, R.H., Chilton, C.H. (ed.), Chemical Engineer's Handbook, Fifth Edition, McGraw-Hill Book Company, New York. (1973).

Personal Communication, Savannah River Nuclear Materials Plant, Aiken, South Carolina. (7 June 1982).

Pilie, R.J., et al., Methods to Treat, Control and Monitor Spilled Hazardous Materials, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Council, Cincinnati, Ohio, EPA 670/2-75-042. (June, 1975).

Raj, P.P.K., Lakekar, A.S., Assessment Models in Support of Hazard Assessment Handbook, Prepared for the Department of Transportation, U.S. Coast Guard, Washington, D.C., p. 238. (January, 1974).

Rehau, Mechan-O-Joint Water Pressure Pipe and Fittings, Montreal, Quebec. (1978).

Rosenstock, H.M., Draxl, K., Steiner, B., Herron, J.T., Energetics of Gaseous Ions, National Bureau of Standards, Washington, D.C. (1977).

Saskatchewan Ministry of Labour, Occupational Health and General Regulations, Saskatchewan Labour, Occupational Health and Safety Branch, Regina, Saskatchewan. (May, 1981).

Sax, J.R., Dangerous Properties of Industrial Materials Report, Vol. 1, No. 6, pp. 68-70. (July/August, 1981).

Sax, N.I., Dangerous Properties of Industrial Materials, Fifth Edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, New York. (1979).

Scott's Industrial Directory of Ontario Manufacturers, 12th Edition, Penstock Directories Limited, Oakville, Ontario. (1979).

Sherritt Gordon Mines Limited, Hydrogen Sulphide User's Manual, Edmonton, Alberta. (1979).

Sherritt Gordon Mines Limited, Material Safety Data Sheet, Fort Saskatchewan, Alberta. (1982).

Smith, L.L., Oseid, D.M., "Effects of Hydrogen Sulphide on Fish Eggs and Fry", Water Research, Vol. 6, pp. 711-720. (1972).

Southam Business Publications Ltd., "1981 Chemical Buyers' Guide", Canadian Chemical Processing, Vol. 64, No. 9, Don Mills, Ontario. (December, 1980).

Spehar, R.L., Lemke, A.E., et al., "Effects of Pollution on Freshwater Fish", J. Water Pollution Control Federation, Vol. 53, No. 6. (June, 1981).

Standard Fittings Company, Corrosion Resistance Chart, Opelousas, LA. (June, 1982).

Steubing, L., "Effect of Hydrogen Sulphide on Higher Plants", Staub-Reinhalt. Luft., Vol. 39, No. 5, pp. 161-164. (1979).

Stull, D.R., Prophet, H., JANAF Thermochemical Tables, Second Edition, Office of Standard Reference Data, U.S. National Bureau of Standards, Washington, D.C. (June, 1971).

Thio-Pet Chemicals Limited, Hydrogen Sulphide User's Manual, Edmonton, Alberta. (January, 1979).

"Thio-Pet, Laurentide Slated to Supply Bruce Sulphide Needs", Corpus Chemical Report, Vol. 9, No. 6, p. 2. (1983).

Thompson, C.R., Kats, G., Lennox, R.W., "Effects of Fumigating Crops with Hydrogen Sulphide or Sulphur Dioxide", Calif. Agric., Vol. 33, No. 3, pp. 9-10. (1979).

Toxicity Data Base, Toxicology Information On-Line. Available from National Library of Medicine, Washington, D.C. (1981).

Union Carbide Canada Limited, Linde Specialty Gases, Oakville, Ontario. (1982).

Uniroyal, Guide to Polymer Properties, Uniroyal Inc., Mishawaka, Indiana. Not dated.

U.S. Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Occupational Health Guidelines for Chemical Hazards, NIOSH Publication No. 81-123. (1981).

U.S. Department of Health, Education and Welfare, Pocket Guide to Chemical Hazards, United States Department of Health, Education, and Welfare, and U.S. Department of Labor, Washington, D.C. (1978).

U.S. Department of Health, Education and Welfare, Occupational Diseases. A Guide to Their Recognition, National Institute for Occupational Safety and Health, DHEW (NIOSH) No. 77-181. (1977).

U.S. Department of Transportation, CHRIS Hazard Assessment Handbook, U.S. Coast Guard, Washington, D.C., CG-446-3. (April, 1974).

U.S. Department of Transportation, Emergency Action Guide for Selected Hazardous Materials, U.S. D.O.T., Research and Special Programs Administration, Materials Transportation Bureau, Washington, D.C. (1978).

U.S. Department of Transportation, Hazardous Materials, 1980 Emergency Response Guidebook, U.S. Department of Transportation, Research and Special Programs Administration, Materials Transportation Bureau, Washington, D.C. (1980).

U.S. Department of Transportation, Coast Guard, Chemical Hazards Response Information System (CHRIS), Washington, D.C. (1978).

Verschueren, K., Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals, Van Nostrand Reinhold Company, New York, New York. (1977).

Weast, R.C. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 60th Edition, Chemical Rubber Publishing Company, Cleveland, Ohio. (1980).

Weast, R.C. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 62nd Edition, Chemical Rubber Publishing Company, Cleveland, OH. (1982).

Welcher, F.J., Hahn, R.B., Semimicro Qualitative Analysis, D. Van Nostrand Co., Inc., Princeton, New Jersey, p. 457. (1955).

Wilber, C.G., The Biological Aspects of Water Pollution, Charles C. Thomas, Springfield, Illinois. (1969).

Windholz, M., Budavari, S., Stroumtsos, L.Y., Fertig, M.N. (ed.), The Merck Index, Ninth Edition, Merck & Co. Inc., Rahway, New Jersey. (1976).

World Information Systems, "Hydrogen Sulphide Leak in South Carolina Prompts Traffic Restrictions", Hazardous Material Intelligence Report, p. 4. (6 June 1980).